
RESEARCH LIBRARIES
3 06637055 6





ANKÜNDIGUNG.

Erschließung der bisher ungehobenen Schätze der Natur ist die Parole der modernen Zeit! So gut wie ungenutzt umwogt bis heute die Erde ihr Luftmeer, das in seinem Stickstoff ein unschätzbar hohes Kapital repräsentiert, dessen Zinsen in Form gebundenen Stickstoffs von der Menschheit nutzbar gemacht werden sollen, ja, nutzbar gemacht werden müssen, da bei dem ständig steigenden Bedarf an gebundenem Stickstoff, der Grundlage alles tierischen und pflanzlichen Lebens, seine bisher fließenden Quellen in absehbarer Zeit zu versiegen drohen.

Über die Wege, die die Natur selbst zur Lösung des Stickstoffproblems betreten hat, die Möglichkeiten der Lösung, die sich der Wissenschaft und Technik als verfolgbar bieten, in allgemein, d. h. ohne spezielle Fachkenntnis verständlicher, doch wissenschaftlicher Form dem Landwirt, den die Stickstoffnot in erster Linie angeht, dem Naturwissenschaftler und Techniker, die zu ihrer Beseitigung berufen sind und nicht zuletzt dem Volkswirt einen kurzen, aber bis zum Augenblick möglichst vollständigen Überblick zu geben, ist die Aufgabe des kleinen Werkes. Aber auch dem Laien auf diesen Gebieten, der sich bei der hohen volks-, mehr als das, weltwirtschaftlichen Bedeutung der Stickstofffrage dafür interessiert, kann das Buch zur Einführung und Orientierung dienen.

Braunschweig, im Juli 1908.

Friedrich Vieweg und Sohn.



DIE WISSENSCHAFT

SAMMLUNG
NATURWISSENSCHAFTLICHER UND MATHEMATISCHEN
MONOGRAPHIEN

SECHSUNDZWANZIGSTES HEFT

DIE BINDUNG
DES
ATMOSPHÄRISCHEN STICKSTOFFS
IN
NATUR UND TECHNIK

VON
DR. P. VAGELER
IN KÖNIGSBERG I. PR.

MIT 16 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 5 TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1908

DIE BINDUNG

DES

ATMOSPHÄRISCHEN STICKSTOFFS

IN

NATUR UND TECHNIK

VON

DR. P. VAGELER
IN KÖNIGSBERG I. PR.

MIT 16 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 5 TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1908



VORWORT.

Eine Abhandlung, die einen in vollem Flusse befindlichen Gegenstand, wie die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik betrifft, kann nur ein Momentbild sein, das die im Augenblick des Schreibens gegebene Sachlage festhält. Ein solches Momentbild als ein Mosaik aus Einzelforschungen und -ansichten habe ich mich bemüht im vorliegenden Bändchen zu geben. Ich hoffe, mich von zu weit gehender Behandlung von Einzelheiten und andererseits zu großer Oberflächlichkeit gleich weit entfernt gehalten zu haben, um, dem Charakter der „Wissenschaft“ entsprechend, nicht nur dem fachlichen Laien einen Einblick in die Frage zu ermöglichen, sondern auch dem Fachmanne, wenn auch selbstverständlich nichts Neues, so doch wenigstens eine brauchbare Zusammenstellung von Hauptpunkten zu bieten. Zu entscheiden, wie weit es gelungen ist, diesem Vorsatz treu zu bleiben, ist Aufgabe des Lesers.

Meinen Herren Verlegern, die mir in liberalster Weise die Verwendung erläuternder Abbildungen gestatteten, sowie allen Herren, die mich durch liebenswürdige Überlassung von Material unterstützten, sage ich an dieser Stelle herzlichen Dank.

Königsberg i. Pr., im Juni 1908.

Dr. P. Vageler.

INHALTSVERZEICHNIS.

VERZEICHNIS DER TEXTABBILDUNGEN UND TAFELN.

I. Einleitung.

„Der Stickstoff ist außer dem Wasser der gewaltigste Motor im Werden, Wachsen und Schaffen der Natur; ihn einzufangen, ihn zu beherrschen, das ist die Aufgabe, ihn zu Rate zu halten, darin liegt die Ökonomie, seine Quelle, welche unerschöpflich fließt, sich dienstbar zu machen, das ist es, was Vermögen schafft."

Dieser Ausspruch von Schultz-Lupitz, dem Manne, welcher als einer der ersten zielbewußt die Lehre der von Liebig zu neuem, fruchtbarem Leben erweckten Agrikulturchemie im Großen in die Praxis übertrug, und, was mehr bedeuten will, mit durchschlagendem Erfolge in die Praxis übertrug, welcher dadurch für die ganze Entwickelung der jungen Wissenschaft indirekt vielleicht noch mehr als direkt von größter Bedeutung geworden ist, kennzeichnet noch heute, nach $2^1/_2$ Jahrzehnten, die Bestrebungen der modernen Agrikulturchemie. Zwar im Munde vieler, mit mehr oder weniger Recht auf wissenschaftliche Bildung Anspruch erhebender Landwirte vielfach zur Phrase geworden, trifft dieser Satz das Charakteristische auch der heutigen Bestrebungen auf dem Gebiete der Ackerbauwissenschaft, in welcher die berufensten Forscher es sich zur Aufgabe gesetzt haben, der Stickstoffbilanz der Böden nachzuspüren, auf Mittel und Wege zu sinnen, um der praktischen Landwirtschaft diesen teuersten aller Pflanzennährstoffe zu niedrigeren und daher rentabeleren Preisen zugängig zu machen, als es heute die Salpeterlager und die Fabrikation von schwefelsaurem Ammoniak ermöglichen. Denn nicht in jeder Form ist der Stickstoff für die Landwirtschaft und damit schließlich für die ganze Menschheit von Wert.

Der elementare Stickstoff, wie er mit geringen Beimengungen von Neon, Argon, Metargon, Krypton und Xenon rund 76,995 Gewichtsteile der atmosphärischen Luft ausmacht, ist nicht imstande, die landwirtschaftlichen Kulturgewächse, welche den Menschen naturgemäß in erster Linie interessieren, oder überhaupt höhere Pflanzen zu ernähren. Nur in gebundener Form, d. h. in Verkettung mit anderen Elementen, kann dieses trägste aller Elemente in den Organismus der Pflanze eintreten. Nur die Pflanze ihrerseits ist imstande, die einfachen, ihr gebotenen und für sie aufnehmbaren Stickstoffverbindungen zu den hochmolekularen Körpern zu verarbeiten, welche als Eiweißstoffe die Grundlage der Ernährung jedes Tieres, also auch des Menschen, bilden.

In Betracht zu ziehen ist demgegenüber, daß tagtäglich in der Natur zahlreiche Prozesse verlaufen, welche den kostbaren gebundenen Stickstoff massenhaft in Freiheit setzen. In jedem Ackerboden arbeiten Milliarden von Mikroorganismen an der Befreiung des gebundenen Stickstoffs, jede verwesende Tier- und Pflanzenleiche läßt elementaren Stickstoff frei, und am schlimmsten haust mit dem anvertrauten Gute der Mensch, indem er durch Verbrennung der Steinkohle alltäglich Tonnen und aber Tonnen Stickstoff aus zahllosen Schloten in die Luft jagt.

Bei dieser Lage der Dinge: der unbedingten Notwendigkeit des Besitzes gebundenen Stickstoffs zum eigenen, wenn auch indirekten Unterhalte, welcher die durch die Entwickelung des modernen Lebens gebotene, ebenso unbedingte Notwendigkeit der Verschwendung der vorhandenen Quellen gebundenen Stickstoffs, insbesondere aber die durch nichts zu hemmende Verminderung des vorhandenen Kapitals durch Naturvorgänge gegenübersteht, ist es nicht verwunderlich, daß der Frage der Stickstoffbindung, welche zur Erhaltung des Status quo der Lebewelt als Gegenprozeß erforderlich ist, von seiten der Wissenschaft und Technik die größte Aufmerksamkeit geschenkt wird. Es ist bei genauer Überlegung selbst das anscheinend paradox klingende Wort kaum als übertrieben zu bezeichnen, daß jeder Schuß, gleichgültig, ob die Kugel trifft oder nicht, zahllose Leben vernichtet. Wird doch durch jeden Schuß der in dem Treibmittel enthaltene gebundene Stickstoff in Freiheit gesetzt und damit einer Reihe von Organismen die Existenzmöglichkeit, die Stickstoffnahrung, entzogen.

Dieser Standpunkt gegenüber dem Stickstoff wurde von der Wissenschaft keineswegs von vornherein vertreten. Lag doch nichts näher als der Gedanke, daß die Pflanze ihren hohen Stickstoffbedarf aus der sie umspülenden Luft deckte, deren Gehalt an Stickstoff überall als ein ganz gleichmäßig hoher sich erwies. Entsprechend wollten am Ende des 18. Jahrhunderts Priestley und Ingen-Housz beobachtet haben [1]), daß lebende Pflanzen, in einen Rezipienten mit atmosphärischer Luft gebracht, nicht unwesentliche Mengen des Stickstoffs dieser Luft zu assimilieren vermöchten, Beobachtungen, die bereits im Jahre 1804 von de Saussure experimentell widerlegt worden sind [2]).

Es sei gestattet, die vorzügliche Darstellung, welche Adolf Mayer (l. c. 5) von der historischen Entwickelung dieser Frage gegeben hat, hier wörtlich zu zitieren:

„Der erste, der die experimentelle Bearbeitung der Frage nach der Assimilation des freien Stickstoffs mit ausreichenden Mitteln in die Hand nahm, war Boussingault. Dieser verließ die für den vorliegenden Zweck ziemlich unbrauchbare eudiometrische Methode und fing an, die relativ viel erheblicheren Stickstoffzuwachse in der Pflanze selbst analytisch zu bestimmen, anstatt, wie dies früher geschehen war, die Stickstoffverluste der umgebenden Atmosphäre. Hierzu war jedoch eine Reihe von Vorsichtsmaßregeln unerläßlich. Es mußte einmal der Pflanze durchaus unmöglich gemacht werden, ihren Stickstoffgehalt auf irgend eine andere Weise als durch den freien Stickstoff der Atmosphäre zu vermehren, und, da die gewöhnliche humose Ackererde oder Gartenerde jederzeit Stickstoffverbindungen enthält, ein stickstofffreier Nährboden hergestellt werden. Durch die Zerstörung der humosen Bestandteile der Ackererde raubt man aber nun der Pflanze eine Reihe anderer, nicht unwichtiger Vegetationsbedingungen, so daß es schon dieserhalb schwieriger ist, eine Pflanze in einem rein mineralischen Boden fortzubringen. Doch wurden von Boussingault diese Schwierigkeiten bald überwunden.

Weitere Schwierigkeiten lagen in dem Gehalt der Atmosphäre an gebundenem Stickstoff: Ammoniak und salpetersauren

[1]) A. Mayer, Die Ernährung der grünen Gewächse, Lehrbuch der Agrikulturchemie, Bd. I, 5. Aufl., S. 177 ff., Heidelberg 1907.

[2]) De Saussure, Recherches sur la végétation, p. 206.

Verbindungen. Diese Verunreinigungen hatten in den ersten Versuchen von Boussingault keine genügende Berücksichtigung erfahren. So kam es, daß derselbe bei manchen Pflanzen: Klee und Erbsen, trotz des Ausschlusses einer Stickstoffquelle im Boden, dennoch Stickstoffzuwachse nachweisen konnte, während allerdings bei anderen Pflanzen zweifelhafte Zuwachse oder stete Verluste eintraten [1]). Wenigstens hat man bis zum Jahre 1886 die ausnahmsweise positiven Resultate ausschließlich diesem Umstande zugeschrieben.

In Boussingaults späteren Versuchen, die vom Jahre 1851 bis 1854 angestellt wurden, ist auch diese zweite Fehlerquelle völlig vermieden worden, indem derselbe von dieser Zeit an nicht bloß die betreffenden Pflanzen in stickstofffreien Nährböden, Sand und Bimssteinpulver mit Asche von Stalldünger, oder auch in Nährböden von genau bekanntem Stickstoffgehalt erzog, sondern denselben auch nur eine Atmosphäre zuführte, die aller ammoniak- und salpetersauren Verbindungen mittels Durchleiten durch Schwefelsäure usw. beraubt war.

Von den Resultaten, die Boussingault nach diesem verbesserten Verfahren erhielt, sind einige in der folgenden Tabelle verzeichnet. Aus denselben kann ersehen werden, welch bestimmte Antwort auf die gestellte Frage durch die Versuche erlangt worden war.

Samen	Versuchsdauer Monate	Gewicht der Aussaat g	Gewicht der Ernte g	Stickstoff der Aussaat g	Stickstoff der Ernte g	Stickstoffdifferenz g
Bohne	2	0,780	1,87	0,0349	0,0340	— 0,0009
"	2	0,792	2,35	0,0354	0,0360	+ 0,0006
"	$2^1/_2$	0,665	2,80	0,0298	0,0277	— 0,0021
Hafer	2	0,377	0,54	0,0078	0,0067	— 0,0011
"	$2^1/_2$	0,139	0,44	0,0031	0,0030	— 0,0001

Man sieht, daß in der Ernte meistens ein kleiner Verlust an Stickstoff konstatiert werden konnte, oder daß der Zuwachs, wie

[1]) Vgl. die Zusammenstellung aller dahin gerichteter Untersuchungen in Boussingault, Agronomie usw. 1860, Bd. I, S. 6 bis 154.

bei dem zweiten Versuche mit den Bohnen, so außerordentlich gering (in diesem Falle 6 dmg) war, daß er als ins Bereich der Versuchsfehler [1]) fallend angesehen werden darf.

[1]) Es ist namentlich bei Beurteilung der möglichen Größe der Versuchsfehler zu berücksichtigen, daß der Stickstoffgehalt der ausgelegten Samen nur durch Analyse einer Durchschnittsprobe festgestellt werden kann und bei der Berechnung des Stickstoffgehalts der Ernte der durch verfaulte Wurzeln usw. in den Boden übergegangene Stickstoff mitbestimmt werden mußte.

Mène (Compt. rend. **32**, 180) und später Harting und Gunning (Compt. rend. **14**, 942) kamen durch derartige Versuche zu Resultaten, die völlig mit den von Boussingault erlangten identisch waren; sie schlossen, daß es nicht erwiesen sei, daß die Pflanzen die Fähigkeit besäßen, freien Stickstoff zu assimilieren.

Dazu kommen die Resultate der außerordentlich umfangreichen Arbeiten von Lawes, Gilbert und Pugh [Proc. Royal Soc. 1860; Phil. Trans. **151** (II), 431 (1861)], in denen alle möglichen Einwürfe berücksichtigt wurden und die schließlich die Boussingaultschen Resultate bestätigten. Die Publikationen der genannten Forscher sind darum von einem besonderen historischen Interesse, weil sie zum erstenmal mit voller Deutlichkeit auf gewisse, durch ihre eigenen Felddüngungsversuche präzisierten Erscheinungen in der landwirtschaftlichen Praxis hinwiesen, die nach den bis dahin bekannten Tatsachen durchaus rätselhaft erscheinen mußten und nach ihrer Ansicht eine nochmalige Erörterung der Stickstofffrage dringend erheischten. Als solche Erscheinungen bezeichneten dieselben folgende:

Wenn sie eine Fläche Landes mit den gewöhnlichen Kulturgewächsen bebauten und dabei genau in bezug auf die Produktion an stickstoffhaltiger organischer Substanz kontrollierten, so fanden sie, daß für die jährlich verfügbar werdende Stickstoffmenge eine bis dahin unbekannte Quelle zu Gebote stand. Wurden auf einem Felde mehrere Jahre hintereinander Cerealien gebaut, so sank nach einigen Jahren die Produktion an stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz auf ein Minimum, 30 Pfund Stickstoff pro Acre, d. i. 37 kg auf den Hektar, herab, auf dem sie dann, ohne weitere Verminderung zu erleiden, verharrte. Wurden jedoch zwischen die einzelnen Ernten von Cerealien Klee oder Erbsen eingeschoben, so konnten weit größere Mengen von stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz in dem Weizen oder der Gerste, die darauf folgte, geerntet werden, trotzdem der Klee oder die Erbsen selbst sehr große Mengen von Stickstoff geliefert hatten. — Diese so durch exakte Feldversuche festgestellte Tatsache, welcher namentlich der Klee und die Lupinen ihre eigentümliche Stellung in der Fruchtfolge verdanken und die erst durch die Hellriegelschen Versuche endgültig erklärt worden ist, war es, wie wir sehen werden, die immer wieder dazu drängte, die Frage nach der Assimilationsfähigkeit des freien Stickstoffs ins Auge zu fassen.

„Was Boussingault aus diesen Resultaten schloß und schließen konnte, liegt auf der Hand. Obgleich sich die Trockensubstanz der Versuchspflanzen ansehnlich vermehrt hatte, also Produktion von organischer Substanz mit Hilfe der grünen Organe der Pflanze stattgefunden hatte, und trotz dem Vorhandensein großer Mengen von freiem Stickstoff in dem Bereich der Pflanze, war keine Stickstoffvermehrung in der Pflanze, kein Zuwachs an deren stickstoffhaltiger organischer Substanz eingetreten. Die Pflanzen waren also in dem Stadium, in dem sie sich befanden, sicherlich unfähig gewesen, den freien Stickstoff zu assimilieren, und Boussingault machte den Schluß, daß bei der Entwickelung der von ihm zu Versuchen benutzten Pflanzen freier Stickstoff nicht aufgenommen wurde."

„So schien die aufgeworfene Frage durch die vielen Versuche des unermüdlichen Experimentators völlig entschieden zu sein. — In keinem der einzelnen, so vielfach modifizierten Versuche war ein unzweideutiger Zuwachs an Stickstoff in der Pflanze nachgewiesen worden; alle im stickstofffreien Boden und in ammoniakfreier Atmosphäre gezogenen Pflanzen waren unfähig, sich über ein gewisses, oft sehr eng begrenztes Stadium hinaus zu entwickeln, was nur dem Umstande zugeschrieben werden konnte, daß die Pflanzen darauf angewiesen waren, sich ihren Stickstoff in gebundener Form anzueignen."

Durch die Schlußfolgerungen aus den Boussingaultschen Versuchen ist der Standpunkt gegeben, den die Wissenschaft bis zum Jahre 1886, wo Hellriegel mit seinen Untersuchungen hervortrat, mit beinahe vollständiger Übereinstimmung behauptet hat[1]).

---

[1]) Als ernstlicher Widersacher ist nur zu nennen G. Ville (vgl. Compt. rend. **35**, 464; **38**, 705 u. 723; **41**, 757), welcher bei sehr verschiedenen Methoden der Versuchsanstellung, sei es nun, daß die Pflanzen einem Strom von ungewaschener oder von gänzlich ammoniakfreier Luft ausgesetzt wurden, und ebenso, wenn die Pflanzen in freier Luft wuchsen und ihr Wachstum durch Düngung mit Nitraten oder anderen stickstoffhaltigen Materien gesteigert wurde, einen nicht ganz unerheblichen Stickstoffzuwachs der Versuchspflanzen (Tabak, Getreide, Kresse, Klee) fand, der nicht auf den Stickstoffgehalt des Bodens zurückgeführt werden konnte. Er schrieb diesen Gewinn der Assimilation von freiem, unverbundenem Stickstoff zu. Im übrigen schlossen sich alle Experimentatoren und mit ihnen die öffentliche Meinung der Folgerung Boussingaults an.

Diese Schlußfolgerung lautet, daß der freie atmosphärische Stickstoff im allgemeinen nicht als Nahrung der höheren Pflanze dienen kann.

Das große unerschöpfliche Reservoir von Stickstoff in der atmosphärischen Luft, von der dieser vier Fünfteile ausmacht, scheint also als für die Ernährung der Pflanze verloren.

Ein Schluß, der um so verständlicher erscheint, wenn man erwägt, mit wie großer Schwierigkeit der freie Stickstoff Verbindungen eingeht, daß er so ziemlich das indifferenteste aller Elemente ist, und daß schließlich bei einem so großen Vorrat an Stickstoff, wie ihn die Atmosphäre enthält, selbst bei geringer Ausnutzbarkeit dieses Kapitals ein Stickstoffhunger bei den Gewächsen niemals eintreten könnte. Dieses ist jedoch sehr häufig in der Natur der Fall, weil eben die Pflanzen auf eine ganz bestimmte Gruppe von Verbindungen des Stickstoffs zu ihrer Existenz angewiesen sind, die sich in der Natur in verhältnismäßig sehr kleinen Mengen finden.

Die Hauptstickstoffquellen der grünen Gewächse sind die Salze der Salpetersäure mit den verschiedensten Basen, soweit diese an sich dem Wachstum der Pflanze förderlich oder wenigstens nicht schädlich sind und von derselben aufgenommen werden können. Diese Vorliebe der grünen Gewächse für die Salpetersäureverbindungen geht so weit, daß sie in der Mehrzahl aller Fälle in der Natur als einzige Stickstoffquelle dienen. Es seien hier nur als einige von vielen, Arbeiten von Kühn[1]), Stohmann[2]), Boussingault[3]) und Knop[4]) erwähnt (vgl. auch die Zusammenstellung von A. Mayer, l. c., S. 182 ff.), welche gleichmäßig zu denselben Resultaten führten.

In geringerem Grade zur Ernährung der grünen Gewächse geeignet erweisen sich verschiedene Ammoniakverbindungen, welche direkt als solche von den Pflanzen aufgenommen und verarbeitet werden, und zwar in künstlich herbeigeführten Ausnahmefällen sogar durch die oberirdischen Teile der Gewächse.

---

[1]) Hennebergs Journal 1864, S. 107.
[2]) Ebenda 1864, S. 65.
[3]) A. a. O., S. 163 bis 191.
[4]) Landw. Versuchsstation 1860, 2, 73.

So hatte z. B. A. Mayer[1]) an jungen Weizenpflanzen die oberirdischen, von der Wurzel luftdicht abgeschlossenen Teile mit $(NH_4)_2CO_3$ bestrichen und so mit Stickstoff ernährt. Die geernteten Pflanzen im Vergleich zu dem ursprünglichen Samen ergaben folgendes Analysenresultat:

	Trocken-substanz g	Darin Stickstoff g
Ursprünglicher Samen	0,043	0,0011
Pflanzen ohne $(NH_4)_2CO_3$	0,104	0,0020
Pflanzen mit $(NH_4)_2CO_3$ bestrichen . . .	0,324	0,0130

Für die Fähigkeit der Ammoniakverbindungen, zur Ernährung auch der höheren grünen Gewächse zu dienen, spricht auch der Umstand, daß nach den Untersuchungen Ebermayers[2]) und seiner Nachfolger im Waldboden gewöhnlich alle Nitrate fehlen, mithin die Waldbäume und ihre Begleiter vorwiegend auf Ammoniakverbindungen angewiesen sein müssen, soweit nicht sogar organische Stickstoffverbindungen hier für die Ernährung in Betracht kommen.

Denn auch diese Formen des gebundenen Stickstoffs können, freilich in engem Kreise, für die Ernährung der grünen Pflanzen von Nutzen sein, nämlich nur so weit, als sie „vermöge ihrer Konstitution als Amide oder Amidosäuren ziemlich leicht Ammoniak abzuspalten vermögen[3])".

In der Natur und besonders im Ackerboden werden derartige Vorgänge, wie die Aufnahme organischer Verbindungen, sich jedenfalls in nennenswerter Weise nicht abspielen, vielmehr wird hier wohl stets eine Spaltung der organischen Stickstoffverbindungen in Ammoniak schon im Boden und nicht erst im Pflanzenkörper stattfinden. Das Ammoniak seinerseits wird zu weitaus dem größten Prozentsatz vor seiner Aufnahme durch die Wurzeln der Pflanzen durch die Mikroorganismen des Ackerbodens zu Salpetersäure oxydiert, so daß es praktisch seine volle Berechtigung hat, in der Salpetersäure die hauptsächlichste und wichtigste Stick-

[1]) Landw. Versuchsstation 1867, S. 157 bis 167.
[2]) Ber. d. Bot. Ges. 6, 217.
[3]) A. Mayer, l. c., S. 189.

stoffquelle der Kulturgewächse zu sehen, und die Erzielung dieses Schlußproduktes durch rationelle Bodenbearbeitung zu erstreben.

Diese Auffassung spiegelt sich auch wieder in der heutigen Bewertung der beiden momentan noch so gut wie ausschließlich zur Verfügung stehenden Quellen gebundenen Stickstoffs in der großen landwirtschaftlichen Praxis: des Chilisalpeters und des Stickstoffs der Steinkohle in Form des schwefelsauren Ammoniaks, indem letzteres leider immer noch mehr als Notbehelf, kaum als vollwertiger Ersatz des ersteren betrachtet wird.

In dritter Linie ist als bisherige wichtige Quelle gebundenen Stickstoffs, welche freilich gegenüber den erstgenannten beiden weniger Bedeutung hat, der Peruguano zu nennen.

Die Landwirtschaft verwendet allerdings in Gestalt von organischen Stickstoffdüngern noch viele andere Produkte, wie Hornmehl, Blutmehl usw.

Da dieses alles jedoch erst sekundäre Stoffe sind, d. h. solche, deren Stickstoff bereits aus einfacher konstituierten, stickstoffhaltigen Substanzen auf dem Umwege über den Pflanzen- und Tierkörper der Landwirtschaft zur Verfügung gestellt ist, so würde deren Besprechung zu weit führen und muß daher davon abgesehen werden.

Wohl aber ist es erforderlich, in Kürze einen Blick auf die drei erstgenannten Stoffe: Salpeter, schwefelsaures Ammoniak und Peruguano zu werfen, um einen Standpunkt für die Beurteilung der Wichtigkeit des Problems der Bindung des atmosphärischen Stickstoffs zu gewinnen.

II. Die Hauptquellen des gebundenen Stickstoffs.

(Salpeter, schwefelsaures Ammoniak und Guano.)

Salpeterfunde sind auf der ganzen Welt gemacht worden. Am längsten bekannt ist der Salpeter in nesterweisem Vorkommen aus Ägypten und Indien. Es ist dies allerdings nicht Chilisalpeter, d. h. da im Sprachgebrauche ein geographischer Begriff mit einem chemischen fast völlig gleichsinnig geworden ist, Natronsalpeter ($NaNO_3$), sondern Kalisalpeter (KNO_3). Als Umsetzungsprodukt tierischer Auswürfe durch die Tätigkeit von nitrifizierenden Bak-

terien kennt man ihn seit langem aus Kalksteinhöhlen in Ceylon, die von Tausenden von Fledermäusen bewohnt sind, und unter ähnlichen Verhältnissen aus Italien am Adriatischen Meere, in Tennessy, Kentucky, Virginia, am Missouri und Crookedriver, aus Peru, Bolivia, Arabien, Persien, kurz aus allen Ländern, in welchen das Klima eine intensive Mikroorganismentätigkeit ermöglicht. Denn überall ist hier der Salpeter erst aus organischen stickstoffhaltigen Körpern durch die Tätigkeit der Mikroorganismen entstanden, was schon daraus hervorgeht, daß überall die Salpetersalze sich nur im Bereiche der atmosphärischen Luft gebildet haben. Erinnert sei an den „Kehrsalpeter" Indiens.

Es sind dies Bildungen, die auch in der Jetztzeit noch vor sich gehen, chemische Vorgänge, die man sich in Form der bekannten Salpeterplantagen in Ungarn, der Schweiz, Spanien und Schweden zu nutze gemacht hat und deren Prinzip das Verfahren von Münz und Lainé[1]) zur Nitrifikation von Lösungen von schwefelsaurem Ammoniak mit Hilfe von Torf und Kalk zugrunde liegt, welches vielleicht, wenn es gelingt, den Stickstoff des Torfs selbst zu verwerten, eine große praktische Bedeutung erlangen kann.

In neuerer Zeit sind von einem französischen Bataillonskommandeur nach Zeitungsnotizen „ausgedehnte Salpeterlager" in der Sahara, in der Nähe der Oase Tuat gefunden worden, die er „für durchaus abbauwürdig halte". Bisher fehlt jedoch jede positive Grundlage zur Beurteilung dieser Nachrichten.

In dieselbe Kategorie gehören die nach dem „Engrais" in Kalifornien im Death Valley im Norden der Grafschaft San Bernardino gemachten Salpeterfunde, zu deren Ausbeutung sogar schon ein Syndikat entstanden ist. Das Lager des dortigen Rohsalpeters zieht sich drei Meilen nordwestlich von Johannisburg an einer kleinen Gebirgskette entlang in einer Mächtigkeit von 200 bis 300 Fuß und einer Flächenausdehnung von 2240 Acres. Jeder Acre (40,467 ar) des Salzlagers soll nach den Berechnungen auf 100 Fuß Tiefe 152000 Tonnen Rohsalpeter liefern. Dieser Rohsalpeter ist ein von Ton durchsetztes Gemenge von etwas Kalisalpeter, Natronsalzen, Magnesia- und Kalksalzen mit einem Gehalt von 10 Proz. Natronsalpeter (Durchschnitt aus 22 Analysen).

[1]) Biedermanns Zentralbl. f. Agrikulturchemie XXXV, Heft 10, S. 653.

Wenn man bedenkt, daß in dem für den Transport viel günstiger gelegenen chilenischen Lager Rohsalpeter mit 17 Proz. Reingehalt kaum mehr als abbauwürdig gilt, so wird man den hochfliegenden Rentabilitätsberechnungen der Interessenten stark skeptisch gegenüberstehen müssen.

Jedenfalls ist an eine ernstliche Konkurrenz mit Chile nicht zu denken, so daß heute noch der Natronsalpeter des Handels ohne weiteres mit Chilisalpeter identifiziert werden darf, wie es im Sprachgebrauch der Landwirte auch stets geschieht.

Die chilenischen Salpeterlager erstrecken sich der Hauptsache nach, 55 bis 75 km von der Küste entfernt, vom 18. bis 27. Grade südl. Breite zwischen der Quebrada de Camarones und der Quebrada de Carzival. Weitz[1]) (l. c., S. 11) schreibt: „Die Küste steigt hier rasch bis etwa 1000 m Höhe an, setzt sich dann als hügeliges und bergiges Land nach Osten hin fort und läuft schließlich in die ebene und wüste Pampa aus, welche sich bis zum Fuß der Cordilleren erstreckt."

„Der Caliche (d. h. der Rohsalpeter) findet sich nun in diesem Hügelland, namentlich nach seinem östlichen Teile nach der Pampa de Tamarugal und der Wüste Atacama zu, 1000 bis 1600 m über dem Meeresspiegel gelegen. Er findet sich meistens in den Talmulden, ansteigend an den Abhängen der Hügel, während die am tiefsten gelegenen Teile Seesalzlager enthalten, welche oft eine meilenweite Ausdehnung haben."

Der Rohsalpeter, der Caliche, enthält das Material zum Salpeter, $NaNO_3$, in verschiedenen Mengen, welche zur Unterscheidung von drei Qualitäten geführt haben:

Qualität	I	enthält	40	bis	50	Proz.	$NaNO_3$
„	II	„	30	„	40	„	$NaNO_3$
„	III	„	17	„	30	„	$NaNO_3$

Caliche mit weniger als 17 Proz. $NaNO_3$ gilt heute noch nicht als abbauwürdig (s. oben). „Man kann nur sagen: Heute, denn es wird wohl einmal die Zeit kommen, wo man auch diesen Rohsalpeter sehr sorgsam heraussuchen wird."

Der Caliche kommt in verschiedenen Farben vor und zwar vom blendenden Weiß bis zum erdigen Grau. Letztere Farbe

[1]) Der Chilisalpeter als Düngemittel, 1905, Berlin, Verlag von Paul Parey.

rührt in der Tat von erdigen Beimischungen her. Selbst der ganz weiße Rohsalpeter enthält aber neben 50 Proz. $NaNO_3$ in schwankenden Mengenverhältnissen $NaCl$, K_2SO_4, $CaSO_4$, Magnesiasalze, KNO_3 und jodsaure und borsaure Salze der genannten Basen: Na_2O, K_2O, CaO und MgO.

Zutage tritt das Calichelager nur selten; gewöhnlich liegt es unter einem Deckgebirge von 0,5 bis 3 m Mächtigkeit.

In primärer, d. h. nicht durch Auflösen in Wasser und späteres Auskristallisieren an anderen Orten veränderter Lagerung, wie man sie in der Provinz Tarapacá, im Hinterlande der Häfen Pisagua und Iquique findet, bildet die Oberfläche des Salpeterterrains gewöhnlich eine Schicht gipshaltigen Sandes, „Chuca" genannt (s. Tafelfigur 1).

Darunter liegt die „Costra", ein Konglomerat von Ton, Kies, Feldspatporphyr- und Grünsteintrümmern, verkittet durch schwefelsauren Kalk, schwefelsaure Magnesia, schwefelsaures Kali und Natron mit wenig Chlornatrium. Ohne scharfe Scheidung geht die „Costra" in die „Congelo" genannte Schicht über, in welcher, neben einigen Prozenten Salpeter und Sulfaten, Chlornatrium und Chlormagnesium überwiegen. Dann folgt die eigentliche Rohsalpeterschicht, der schon genannte Caliche, welcher seinerseits auf einer „Coba" genannten Tonschicht auflagert. Diese ruht auf dem Urgestein und findet sich natürlich unter ihr niemals mehr Salpeter (s. Fig. 2).

Aus dem durch Sprengen und Handarbeit gewonnenen Rohmaterial wird in den Officinas der Salpeter des Handels hergestellt, ein schmutziggraues Salz von durchschnittlich folgender Zusammensetzung:

95,0	Proz.	$NaNO_3$
2,0	„	$NaCl$
0,6	„	Sulfate
0,1	„	Unlösliches
2,3	„	Wasser
100	Proz.	

Wie sind nun diese Calichelager entstanden? Eine eigenartige Theorie, welche meines Wissens noch nicht in der Literatur erörtert ist, stellt darüber in allerneuester Zeit von Haase in seinen Reiseberichten über Chile auf[1]). Oder richtiger, er

[1]) Tägliche Rundschau 1907.

Tafelfigur 1 zu S. 12.



Schürfen auf Salpeter mittels Sprengbohrlöchern. (Aus Weitz, Der Chilisalpeter.)

Fig. 2.



Aufgebrochenes Calichelager (Caliche weiß!).

gibt eine ihm an Ort und Stelle gemachte Mitteilung wieder, indem er schreibt: „Die letzte (Theorie nämlich, d. Verf.) bringt das Entstehen des Salpeters mit den elektrischen Spannungen in Verbindung, die den abends von Westen kommenden Nebel, die Camanchaca, begleiten. Der Stickstoffgehalt der Luft soll durch sie in Ammonnitrat (? d. Verf.) umgewandelt und durch Umsetzung mit Kochsalz aus dieser Verbindung der Natronsalpeter entstanden sein. Die elektrischen Entladungen während der Camanchaca sind allerdings häufig so stark, daß die elektrischen Anlagen in den Salpeterwerken mit besonderen Schutzvorrichtungen versehen werden müssen, und der Bereich des Auftretens dieser Küstennebel deckt sich auch annähernd mit der Ausdehnung des Salpetergebietes." Der Herr Berichterstatter fügt gleich selbst hinzu: „Da ich leider in der Chemie immer „„gänzlich ungenügend"" hatte, habe ich diese Angaben auf Treu und Glauben von dem Administrator eines großen Werkes übernommen, der sich schon jahrelang in der Pampa aufhält."

Interessant ist diese Theorie für das vorliegende Thema deswegen, weil damit die Möglichkeit einer direkten Entstehung der Salpeterlager durch Bindung des atmosphärischen Stickstoffs durch elektrische Entladungen gewiesen ist. Daß eine solche Bindung stattfindet, steht fest und wird weiter unten diese Frage eingehend zu erörtern sein. Ob aber selbst bei täglichem Auftreten der Camanchaca die auf diese Weise gebildeten Stickstoffverbindungen genügend große sind, um eine solche Theorie ernstlich aufzustellen, das ist eine Frage, die nur durch die genauesten Messungen an Ort und Stelle entschieden werden kann. Diese stehen zurzeit noch aus.

Hier sei nur dazu bemerkt, daß weitaus der größte Teil des Ammoniaks im salpetersauren Ammoniak der Luft dem Erdboden entstammt, aus welchem es bei Verwesung von Tier- und Pflanzenleichen entstiegen ist. Die Salpetersäure kann direkter Bindung des atmosphärischen Stickstoffs an Sauerstoff durch elektrische Entladungen ihren Ursprung verdanken und auch sie nur zum Teil, während der Rest auf Oxydation des Ammoniaks durch Ozon zurückzuführen sein dürfte [1]).

---

[1]) Houzeau (Boussingault: Agronomie 1, 610); auch Zabelin, Ann. d. Chim. et Pharm. 130, 34 und Carius, ebend. 174, 4. Durch

Die für die zitierte Theorie demnach in Betracht kommenden Gewinnste an gebundenem Stickstoff direkt aus der Atmosphäre sind gegenüber den gewaltigen Calichelagern verschwindend klein, selbst vieltausendjährige Dauer der Camanchaca vorausgesetzt. Da aber zurzeit zahlenmäßiges Material fehlt, läßt sich mit Bestimmtheit über die Berechtigung der Theorie nichts entscheiden.

Die zurzeit über eine größere Zahl von Anhängern verfügenden Theorien über Salpeterbildung sind sich über das Wesen dieses Prozesses völlig einig. Stets haben organische Reste irgend welcher Abkunft die Grundlage gebildet, welche dem wohl bekannten Nitrifikationsprozeß unterlagen[1]), etwa wie er in den Salpeterplantagen künstlich eingeleitet wird. Ein Zwiespalt besteht jedoch über den Ursprung eben dieser organischen Reste und über den Verlauf der Nitrifikation in ihren einzelnen Phasen.

Nöllner, dessen Lehre vielleicht die meisten Anhänger zählt, führte schon 1868[2]) die Entstehung des Salpeters auf die Verwesung großer Tangmassen zurück, wie sie noch heute in meilenweiter Ausdehnung das Sargassomeer bilden. Vulkanische Hebungen des Terrains sollen solche Tangwiesen vom Meere abgeschnitten haben, worauf dann nach Verdunstung des Wassers die Verwesung und Nitrifikation einsetzte.

Diese Hypothese hat insofern etwas sehr Verlockendes, als sie ungezwungen das reichliche Vorkommen von Jod im Chilisalpeter erklärt. Sind doch auch heute noch die Tange und Algen die Lieferanten eines Bruchteiles des auf den Markt gelangenden Jods und waren es in weit höherem Maße vor noch nicht gar langer Zeit, während heute die Hauptmengen des Jods in den Salpeteroffizinas aus der jodhaltigen Lauge der Salpeterbereitung gewonnen werden. Es liegt somit die Annahme, in dem Urmaterial der Caliche jodhaltige Meerespflanzen zu sehen, sehr nahe. Hierzu kommt noch, daß in den unterliegenden

---

Wohltmann wurde das Vorkommen von Ozon in der Luft bestritten. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik 1890, S. 378.

[1]) Vgl. A. Müntz in Ann. chem. phys. (6. serie) **11**, 111; Weitz, a. a. O., S. 12.

[2]) Journ. f. prakt. Chem., S. 459 und Plagemann, Geologisches über Salpeterbildung 1896; vgl. Mayer, l. c., S. 144.

Schichten, der „Coba", verschie
funden sind [1]).

Eine andere Theorie [2]) nimm
Tieren oder deren Kadaver se
lager verwest sind, also eine Bildu
lagern in Peru. Ein gegen diese T
ist: der hohe Phosphorsäuregehalt
Kadaver, wie er sich in dem hoh
Peruguanos aufs deutlichste dokument
gewissenermaßen keine Spur von Pho
man annehmen, daß sämtliche Phospho
sorbiert ist, wo man in der Tat Reste
während die weit löslicheren und vor all
unterliegenden Nitrate in die Tiefe versic
soll angewehter Guano entsprechend d
schen Lößtheorie zur Bildung dieser Salp
werden.

Man muß gestehen, in der für die
geltenden Richtung des kleinsten Kraftmaße
gerade nicht, umsoweniger, als auch noch de
Jodgehalt der Caliche in irgend einer Weise e
der von vornherein mit der Theorie nicht im
man keine einzigen jodhaltigen Exkremente u
auch nicht jodhaltige Guanolager kennt.

Es muß also auch hier wieder auf Mitwirkun
Meerwassers bei der Bildung der Salpeterlager
werden, und zwar schon während der Nitrifikati
nächst zu $Ca(NO_3)_2$ führte, das sich sofort mit
Na_2SO_4 des Seewassers zu $NaNO_3$ und $CaSO_4$ ne
setzte, von welchen das letztere wegen seiner groß
in den Untergrund versickerte. Daß auch die übri
Meerwassers an den Umsetzungen teilnehmen, ist selbs
und sind so auch die Beimischungen von Jod und Bo

Der Verlauf kann auch insofern noch anders ge
daß in dem alten Meeresboden durch Wechselwirkung
salz und kohlensaurem Kal entstanden ist, welc

1) Neu

2) Ma

zierte und in Berührung mit stickstoffhaltigen Stoffen durch Mitwirkung von Nitrifikationsorganismen in Salpeter sich verwandelte.

Weitz nimmt die Tangtheorie als gegeben an und legt den der eigentlichen Nitrifikation folgenden chemischen Prozessen folgende Formeln zugrunde [1]):

$$2\,HNO_3 + CaCO_3 = Ca(NO_3)_2 + CO_2 + H_2O,$$
$$Ca(NO_3)_2 + Na_2SO_4 = 2\,NaNO_3 + CaSO_4,$$

welch letztere Mischung in der Tat am besten den hauptsächlichen Bestandteilen des Calichelagers entspricht.

Zu erwähnen ist hier noch, daß in letzter Zeit in großen Mengen der weiter unten zu besprechende Azobakter chroococcum auf Tang gefunden ist, welcher vielleicht einen Teil seines Stickstoffs direkt der Atmosphäre auch bei diesem Vorkommen entnimmt, so daß bei Annahme der Tangtheorie ein Teil des Stickstoffs des Salpeters direkter Bindung durch Mikroorganismen seinen Ursprung verdanken kann.

Wie bei so vielen geologischen Prozessen wird man auch bei der Frage der Bildung der Salpeterlager über Hypothesen mit beschränkter Lebensdauer kaum hinauskommen, wenigstens zurzeit noch nicht.

An zweiter Stelle wurden als heutige Quelle gebundenen Stickstoffs die Ammoniakverbindungen genannt. In der Natur vorkommende Ammoniakverbindungen freilich spielen wegen ihrer sehr geringen Menge überhaupt keine Rolle, es handelt sich hier vielmehr um Ammoniak, das als Abfallprodukt der Technik bei Gasfabrikation, besonders auch Koksfabrikation und bei Hochöfen, und in neuester Zeit als Hauptprodukt aus Torf gewonnen wird, welch letzterem Verfahren sich die Verarbeitung stickstoffhaltiger Schiefer auf Ammoniak anreiht, wie sie in letzter Zeit in England in Aufnahme kommt. Als Konkurrent des Chilisalpeters von steigender Bedeutung ist das schwefelsaure Ammoniak, welches auch unter diesem Namen gehandelt wird. zu nennen. Das Produkt ist rein und entspricht sein Stickstoffgehalt ziemlich genau mit 21 Proz. N der Formel. Gewonnen wird es aus dem Gaswasser usw. durch Absättigen mit Schwefelsäure. Der Gehalt des Gaswassers an NH_3 beträgt durchschnittlich

[1]) A. a. O., S. 146.

0,5 Proz.; er schwankt natürlich sehr stark nach den Reinigungsmethoden, vor allem auch nach dem Gehalt der verarbeiteten Kohlen an Stickstoff. Das Gleiche gilt für Kokerei usw.

Biedermann[1]) gibt folgende Stickstoffmengen für verschiedene Kohlenarten an:

Flammkohle von Blancy	1,13 Proz. N
Fettkohle, St. Etienne	0,84 „ N
Anthrazitkohle, Tongking	0,60 „ N
Westdeutsche Fettkohlen[2])	1,5 „ N

Mayer[3]) gibt als Durchschnitt überhaupt 0,75 Proz. N an.

An dritter Stelle rangiert als Stickstoffquelle der Peruguano, welcher den Exkrementen, teilweise wohl auch den Eiern und Leichen von Pinguinen und Pelikanarten seine Entstehung verdankt, welche sich, durch fast völligen Mangel an Regen begünstigt, auf peruanischen Küsteninseln namentlich zu gewaltigen Lagern aufgehäuft haben.

Die stickstoffreichsten Massen sind heute abgebaut. Die Zusammensetzung der heutigen Ware ist etwa die folgende (nach Mentzel und Lengerke, 1907, S. 89):

	Wasser Proz.	Organ. N. Proz.	Ges. N. Proz.	Lösl. N. Proz.	P_2O_5	K_2O	Cal	Mg O
Peruguano, roh . . .	15,0	42,4	7,0	3,0	14,0	3,3	12,6	0,9
„ neue Funde	14,0	44,0	12,0	3,7	9,5	2,6	8,2	—

Die chemische Form, in welcher der Stickstoff im Peruguano vorkommt, ist für die Pflanze rasch zugänglich. Der unlösliche Teil des Guanostickstoffs ist noch unzersetzte Harnsäure, und ein kleiner Teil ist in der dem Guano charakteristischen Base Guanin enthalten. Unter den löslichen N. h.-Substanzen wiegt oxalsaures Ammoniak neben harnsaurem Ammoniak vor. Stutzer gibt für Guano der Mazorkainseln folgende Verteilung des Stickstoffs an:

---

[1]) Chemikerkal. 1906, S. 384.

[2]) Bonsmann, Anleitung zum zweckmäßigen Gebrauche der Handelsdüngemittel, S. 30.

[3]) A. a. O. 2 (2), 152.

N-Gesamtmenge	14,03 Proz.
N als flüchtige Ammoniakverbindungen . . .	1,58 „
N in nichtflüchtigen Ammoniakverbindungen .	2,79 „
N in organischen Verbindungen	9,66 „

An Harnsäure:

```
NH—CO
|    |
CO   C—NH\
|    ||    >CO = C5H4N4O3
NH—C—NH/
```

waren 16,5 Proz. vorhanden. Damit ist die Zahl der bisher wirtschaftlich in Betracht kommenden Quellen gebundenen Stickstoffs erschöpft. Alle drei Quellen greifen nicht zurück auf die elementare Form des atmosphärischen Stickstoffs, sondern sind nur die Überbleibsel von hochorganisierten Wesen pflanzlichen oder tierischen Charakters, die ihren Stickstoff ihrerseits ebenfalls nur in gebundener Form aufgenommen haben können. Eine Andeutung über den Ablauf von Prozessen direkter Stickstoffbindung aus der Atmosphäre bieten diese alten Zeugnisse der Schöpferkraft der Natur nicht. Diese zu entdecken war der Forschung der jüngsten Tage vorbehalten.

Zum Schlusse sei ein Überblick über das Verhältnis der Stickstoffmengen, welche aus den besprochenen Quellen zu Gebote stehen, zu dem bisher ungenutzten Stickstoffkapital der Atmosphäre gegeben:

Leider existieren nicht in allen Ländern der Erde auch nur einigermaßen zuverlässige Statistiken über den Gesamtverbrauch von Düngemitteln, so daß Angaben über den Weltverbrauch an N. h.-Dungstoffen immer nur auf sehr annähernden Schätzungen beruhen. Desto bessere Statistiken existieren für das Deutsche Reich und seien im folgenden daher auch nur die für Deutschland geltenden Zahlen zugrunde gelegt.

Nach der Statistik (vgl. die Zusammenstellung von Dr. Caro in der Zeitschr. f. angew. Chemie 1906, S 1569) stellt sich der Verbrauch deutscher Länder an stickstoffhaltigen Stoffen in runden Zahlen in tons folgendermaßen (siehe Tabelle auf S. 20).

Diese Zahlen machen auf absolute Genauigkeit natürlich keinen Anspruch; schon beim Salpeter weichen die von verschiedenen Berichterstattern angegebenen Werte des Imports um nicht Unbedeutendes voneinander ab, und noch mehr ist dies bei

	Salpeter	Schwefelsaures Ammoniak	Guano (7,25 Proz.)
1896	439 950	109 000[1]	36 520
1897	454 029	114 492	38 943
1898	412 170	124 172	47 916
1899	513 034	127 315	50 147
1900	470 386	125 674	37 450
1901	516 088	164 866	47 775
1902	452 287	171 508	49 832
1903	449 547	169 576	51 264
1904	485 097	197 469	55 017
1905	571 140	210 106	57 013
Summe:	4 763 728	1 514 178	471 877
Darin N in runden Zahlen	738 400	311 000	33 700

schwefelsaurem Ammoniak und Guano der Fall. Hinzu kommt noch, daß diese Einfuhr von Stickstoff keineswegs dem Verbrauch der Landwirtschaft entspricht, da auch die Industrie ihren sehr großen Teil daran hat, welcher sich auch schätzungsweise kaum angenähert ermitteln läßt. Beim Salpeter dürfte der vierte Teil der Einfuhr der Industrie dienen.

Immerhin gibt der Gesamtverbrauch Deutschlands an N, 1 083 100 tons in 10 Jahren, einen Begriff von der Größe der für die ganze Erde in Frage stehenden Werte, repräsentiert doch diese Stickstoffmenge, das Kilogramm N auch nur zu 1 ℳ gerechnet, einen Preis, welcher den heutigen Marktpreis, 1,47 ℳ, noch längst nicht erreicht[2]), die enorme Summe von 1 100 429 600 ℳ, eine Summe, welche mit Sicherheit im Laufe der nächsten zehn Zahre nicht nur sich verdoppelt haben wird, sondern, da der Verbrauch an Stickstoff alljährlich rapide steigt, womöglich verdreifacht, was für die weitere Zukunft in erhöhtem Maße gilt.

Es ist dies nur das eigentliche Plus an N, welches den Böden zugeführt ist; nicht dabei eingerechnet sind die weit höheren Stickstoffmengen, welche im Betriebe selbst im Kreislaufe der

[1]) Diese Zahl ist als besonders ungenau zu betrachten! D. Verf.
[2]) 1 ton = 1016 kg.

Produktion umgesetzt werden. Was aber sollen selbst diese Stickstoffmengen bedeuten gegenüber den ungeheuren Massen, welche die Atmosphäre birgt, ein heute noch so gut wie totes Kapital. Repräsentiert doch zu demselben Preise von 1,00 ℳ pro Kilogramm die über Deutschland ruhende Luftsäule in ihrem Stickstoff den Wert von 4 325 940 800 000 000 ℳ [1]). Die für die ganze Erde sich bei dieser Berechnung ergebenden Werte lassen jede Vorstellung weit hinter sich, und es muß darauf verzichtet werden, sie anzugeben. Wie sehr gegenüber diesen Riesenwerten das Bestreben zur Nutzbarmachung derselben berechtigt ist, bedarf aber wohl keines weiteren Wortes, um so weniger, als eine Erschöpfung der chilenischen Salpeterlager und damit einer der Hauptstickstoffquellen in absehbarer Zeit zu erwarten sein dürfte.

III. Bindung von Stickstoff ohne Mitwirkung von Organismen.

In welcher Form der Stickstoff auf der Erde im Beginn ihrer Laufbahn als selbständiger Weltkörper vorhanden war, wissen wir nicht. War der Zustand des Planeten ein feurigflüssiger nach der Annahme der heutigen Geologie, dann war die Existenz des Stickstoffs in „organischer" Bindung ausgeschlossen, während andererseits das erwachende Leben nicht nur zu seiner Fortdauer, sondern sogar zu seiner Entstehung unbedingt gebundenen Stickstoff, den Grundstein des Eiweißmoleküls, erforderte. Es muß vorläufig als ein noch aussichtsloses Unterfangen bezeichnet werden, darüber zu streiten, ob der Stickstoff erst an Bor oder Silicium gebunden war, um bei Berührung mit wässerigen alkalischen Stoffen oder auch nur wässeriger Kohlensäure Gelegenheit zur Bildung von Ammoniakverbindungen zu geben, oder ob der Stickstoff in der Glut der ersten

---

[1]) Nach Hann enthält die Luft in

1 000 m Höhe	79,37 Proz.	N
10 000 „ „	81,65 „	N
20 000 „ „	84,07 „	N usw.

Frank berechnet auf entsprechender Grundlage das Gewicht des auf 1 ha Bodenfläche ruhenden Stickstoffs auf 79 000 tons.

Lebenszeit der Erde sich an den Kohlenstoff kettete, um als das „halblebendige Molekül" Cyan gewissermaßen eine Vorstufe des organischen Lebens zu bilden. Kein Forscher ist heute schon in der Lage, in diesem Streit auch nur mit einem Schein von Berechtigung zu entscheiden, und fraglich muß es erscheinen, ob wir nicht stets mit „Ignoramus" werden resignieren müssen.

Dagegen gibt es kein Hindernis, in diesen frühesten Erdentagen eine Bindung des Stickstoffs in Form von Nitraten und besonders Salpetersäure anzunehmen, und zwar zunächst unter dem Einfluß der hohen Temperatur des ganzen Erdballes, dann aber, wie auch heute noch, durch die in diesen frühen geologischen Epochen jedenfalls noch weit häufigeren und heftigeren elektrischen Entladungen, welche, ebenfalls in erster Linie durch die hohe Temperatur des Blitzes, Stickstoff und Sauerstoff verbanden.

Die Kenntnis dieser Reaktion reicht zurück auf Cavendish und Priestley, von welchen ersterer im Jahre 1781 auf die Verbrennbarkeit des Stickstoffs durch den elektrischen Funken aufmerksam machte und bei der Konstruktion seines ersten Eudiometers 1783 die Reaktion weiter verfolgte. Priestley machte, unabhängig von ihm, ungefähr zu derselben Zeit die gleiche Entdeckung.

Der Verlauf des Prozesses ist wohl kaum als in allen seinen Phasen geklärt zu betrachten, und speziell in der Atmosphäre wird er je nach dem Wassergehalt der betreffenden Luftschicht in den Einzelheiten schwanken. Fest steht als eigentliches Schlußprodukt die Salpetersäure, wie sie teils frei, teils in salpetersaurem Ammonium neben freiem Ammoniak, Chlorammonium und Nitriten sich in allen atmosphärischen Niederschlägen nachweisen läßt. Wie schon oben betont, entstammt allerdings ein Teil dieser Stickstoffverbindungen sicher der Erdoberfläche, von welcher er durch Verwesungsprozesse usw. aufgestiegen ist. Es wird weiter unten zu untersuchen sein, wie hoch man diesen Anteil an der Hand des bisher vorliegenden Beobachtungsmaterials veranschlagen darf.

Für den Vorgang der direkten Stickstoffbindung scheint mir folgender Gedankengang nicht unfruchtbar:

Die tieferen Schichten der Atmosphäre sind reich an Wasserdampf. Setzt man Dampfdruck und Luftdruck im Meeresniveau

= 1, so findet die Abnahme beider mit der Meereshöhe in folgenden Verhältnissen statt (Hann):

Seehöhe m	Wasserdampf	Luftdruck	Seehöhe m	Wasserdampf	Luftdruck
0	1,00	1,00	5000	0,17	0,54
1000	0,73	0,88	6000	0,12	0,47
2000	0,49	0,78	7000	0,08	0,42
3000	0,35	0,69	8000	0,06	0,37
4000	0,24	0,61	9000	0,04	0,32

Es ist anzunehmen, daß es bei Gewittern in diesen niedrigeren Schichten mit feuchter Luft ohne dauernde Bildung von Zwischenprodukten zur sofortigen Bildung freier Salpetersäure kommt (vgl. Richter-Klinger, Anorg. Chemie, S. 229). Vielleicht ist sogar in Anlehnung an die Versuche Schoenbeins[1]), welcher bei Einwirkung von Wasser auf Stickstoff bei gewissen Temperaturen die Bildung von bedeutenden Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak beobachtete, an eine beschränkte Entstehung dieses Salzes zu denken, etwa nach der Gleichung:

$$2\,N + 2\,H_2O = NH_4NO_2.$$

Die trockneren, weil höheren Regionen der Atmosphäre kämen dann für die Bildung von Stickstoffperoxyd $(NO_2)_x$ in Betracht, welches je nach der Höhe der Temperatur — Stickstofftetroxyd ist nur unter 0^0 beständig — mehr aus diesem (N_2O_4) oder Stickstoffdioxyd, NO_2, bestehen müßte. Infolge seines spezifischen Gewichtes in tiefere und damit feuchtere Schichten der Luft sinkend, können in Berührung mit Wasser die Umsetzungen dieses Körpers verschieden verlaufen. Bei Einwirkung von wenig eiskaltem Wasser entsteht Salpetrigsäureanhydrid und Salpetersäure, entsprechend der Gleichung:

$$2\,N_2O_4 + H_2O = N_2O_3 + 2\,HNO_3.$$

Mit überschüssigem kalten Wasser entsteht Salpeter- und salpetrige Säure, die eventuell mit vorhandenem Ammoniak zu den betreffenden Salzen zusammentreten. Der Verlauf wäre dann folgender:

$$N_2O_4 + H_2O = HNO_3 + HNO_2.$$

[1]) Ann. d. Chem. u. Pharm. **124**, 1 bis 13.

Bei höherer Temperatur des Wassers schließlich ist der Prozeß entsprechend obigem geändert, indem Salpetersäure und Stickoxyd entstehen:

$$3\,NO_2 + H_2O = 2\,HNO_3 + NO,$$

welch letzteres sich sofort mit dem Sauerstoff der Luft wieder zu $(NO_2)_x$ verbindet.

Die Möglichkeiten für die Bildung der verschiedensten Oxydationsprodukte des Stickstoffs in der Atmosphäre sind demnach verhältnismäßig zahlreich. Wenn es auch kaum möglich ist, für den Einzelfall einen bestimmten Weg zu bezeichnen, und auch mit Sicherheit nur ein Teil dieser Stoffe direkter Bildung unter der Wirkung der elektrischen Entladungen der Atmosphäre sein Dasein verdankt, so darf man, wie auch die weiter unten zu gebenden Zahlenangaben beweisen, unter keinen Umständen namentlich für die wildlebende Flora die so erzielten Gewinne an Stickstoff in gebundener Form vernachlässigen.

Für die Ammoniakverbindungen, in welchen der Stickstoff an Wasserstoff geknüpft ist, nimmt man, von dem angegebenen Falle des salpetrigsauren Ammoniums abgesehen, an, daß sie durchweg dem Erdboden entstammen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß dies für weitaus den Hauptteil der Gesamtmenge des atmosphärischen Ammonstickstoffs ohne weiteres zutrifft, ob für die ganze Menge, möchte ich bezweifeln. Es scheinen auch für die Wasserstoffbindung des Stickstoffs in der Atmosphäre zwei Wege gangbar zu sein, wenngleich von vornherein ihre Bedeutung möglichst gering veranschlagt werden soll.

Berthelot[1]) und andere Versuchsansteller haben beobachtet, daß verschiedene organische Stoffe unter dem Einfluß selbst eines schwachen, nicht geschlossenen galvanischen Stromes die Eigenschaft haben, den freien Stickstoff langsam als Ammoniak oder Amidokörper zu fixieren. Sollte diese Beobachtung sich bestätigen und nicht, ein Verdacht, der bei der an zitierter Stelle beschriebenen Versuchsanstellung nicht von der Hand zu weisen ist, die Anreicherung an N auf die Tätigkeit von Mikroorganismen zurückzuführen sein[2]), dann liegt der Gedanke nahe, dem stets in

---

[1]) Chimie végétale 1899, **1**, 401.
[2]) Mayer, l. c.

er Luft in großen Mengen enthaltenen Staub die Rolle der rganischen Stoffe, der Luftelektrizität die Rolle des schwachen tromes zuzuschieben. Französische Forscher haben etwas Ähnches für die Bindung gewisser Stickstoffmengen im Boden bereits ngenommen.

Eine zweite Möglichkeit der Bildung von Ammoniak aus em freien Stickstoff, und zwar durch starke Gewitter, scheint in en höchsten Höhen der Atmosphäre gegeben zu sein. In sehr eringem Grade vereinigen sich auch N und H bei lange andauernem Durchschlagen elektrischer Funken.

Legt man die Hannschen Berechnungen über die Zusammenetzung der Atmosphäre zugrunde (vgl. die folgende Tabelle), so rscheint theoretisch dieser Prozeß in größeren Höhen keineswegs usgeschlossen. Ob und in welchem Umfange er in der Natur erläuft, muß freilich eine offene Frage bleiben.

Nach Hann ist die Zusammensetzung der Atmosphäre die olgende [1]):

öhe	0 km	10 km	20 km	50 km	100 km
emperatur .	10,00°	— 18,5°	— 38,5°	— 60,0°	— 80°
tickstoff . .	78,03	81,20	84,34	79,17	0,099 Vol.-Proz.
auerstoff . .	20,99	18,10	15,19	7,03	0,000 „
rgon	0,94	0,56	0,31	0,03	0,000 „
ohlendioxyd	0,03	0,015	0,006	0,000	0,000 „
asserstoff . .	0,01	0,035	0,147	13,645	99,448 „
eon	0,0015	0,002	0,004	0,000	0,000 „
elium . . .	0,00015	0,000	0,002	0,129	0,453 „
rypton . . .	0,0001	0,000	0,000	0,009	0,000 „

Es ist selbstverständlich, daß alle diese in der Luft sich ildenden Stickstoffverbindungen nicht darin verbleiben, sondern iit den Niederschlägen zur Erde gelangen. Durch Untersuchung er atmosphärischen Niederschläge sind wir also in die Lage veretzt, uns ein Bild von der Intensität der geschilderten Prozesse u verschaffen. Es ist allerdings stets dabei zu berücksichtigen, aß, wie ausgeführt, nur ein Bruchteil der in den Niederschlägen

[1]) Meteorol. Zeitschr. 1903.

gefundenen Stickstoffmenge wirklich direkter Stickstoffgewinn aus der Atmosphäre ist. Hierzu kommt, daß vielfach, namentlich bei älteren Analysen, die angegebenen Werte sicherlich durch Vernachlässigung verschiedener Fehlerquellen bei der Analyse selbst, als da sind: Absorption von Ammoniak beim Eindampfen usw., zu hoch sind. Die Höhe dieser Fehler läßt sich nicht schätzen. In ersterer Hinsicht dagegen läßt sich bei geeigneter Zusammenstellung des Materials ein gewisser Anhalt zur Schätzung der wirklichen Stickstoffgewinne finden.

Untersucht sind auf ihren Stickstoffgehalt sämtliche Atmosphärilien. Welbel[1]) gibt für seinen Beobachtungsort Ploty folgende Werte an. Es enthielten Milligramme N in Gestalt von NH_3 im Liter (anderer Stickstoff ist leider hier nicht in Rechnung gezogen):

Schnee	0,915 mg
Regen (1,229 mg bei Gewitter)	0,964 „
Rauhreif	2,700 „
Hagel	2,750 „
Graupeln	2,970 „
Reif	4,200 „
Tau	5,000 „
Nebel	5,570 „

Es lassen sich natürlich die in Nebel, Reif, Rauhreif, Tau niedergehenden Mengen von Stickstoff in ihrer Gesamtmasse auch nicht annähernd schätzen und sind, da sie vorwiegend auf die Schichten der Luft in unmittelbarer Nähe des Bodens beschränkt sind, ausgenommen natürlich Nebel, diese Stickstoffmengen wohl auch am ehesten auf Ausdünstungen des Bodens selbst zurückzuführen. Entsprechend haben sich die zahlreichen Untersucher darauf beschränkt, in fast allen Fällen nur die eigentlichen Niederschläge im gewöhnlichen Sinne des Wortes, also Schnee, Hagel und Regen zu analysieren. Eine Übersicht über das reiche Untersuchungsmaterial sei, berechnet auf deutsche Maße und Gewichte, in folgender Tabelle gegeben [2]).

---

[1]) Russ. Journ. f. exp. L. 1903, S. 194.

[2]) Zugrundegelegt ist derselben im wesentlichen die Zusammenstellung von Miller im Journ. of the Agr. Society, Vol. I, part. III, p. 280. Vgl. auch Vageler-Fühlings landw. Zeitung 1908.

Stickstoffgehalt der Niederschläge.

Ort (eordnet nach ab- mender N-Menge)	Zeit	Stickstoff pro Million der Niederschläge als NH_3	Stickstoff pro Million der Niederschläge als N_2O_5	pro Hektar und Jahr	in Proz. der Gesamtmenge als NH_3	in Proz. der Gesamtmenge als N_2O_5
kau	1864—1865	3,21	1,73	22,12	65,0	35,0
ezuela	1883—1885	1,55	0,58	21,36	72,8	27,2
Michele	1885—1886	1,19	0,58	19,54	67,7	32,7
enwalde	1864—1867	2,08	0,62	15,52	77,0	23,0
tsouris	1876—1900	2,13	0,66	15,10	76,3	23,7
ritius	1895	0,43	0,40	14,61	51,8	48,2
enz	1869—1875	1,00	0,57	13,10	73,8	26,2
ombroso	1872—1875	0,62	0,25	13,13	70,7	29,3
enhagen	1880—1885	1,97	0,47	12,76	80,8	19,2
werda (Böhmen)	1877—1878	1,30	0,61	11,72	68,1	31,9
bloux	1889—1891	1,14	0,35	10,23	76,8	23,2
k	1883—1886	1,26	0,50	8,58	71,6	28,4
me	1865	1,42	0,30	7,50	82,6	17,4
erburg	1864—1866	0,65	0,38	6,83	63,1	36,9
ndicci	1888—1890	0,61	0,27	6,46	69,8	30,2
bados	1895—1897	0,08	0,27	5,67	23,9	76,1
on	1898—1899	0,19	0,07	5,48	72,0	28,0
namstedt	1888—1891	0,44	0,18	4,27	70,6	29,4
y	1900—1903	0,85	0,06	4,02	93,3	6,7
sas	1887—1889	0,39	0,15	4,02	71,8	28,2
ra Dun[1])	?	0,10	0,07	3,49	58,8	41,2
issippi	1894—1895	0,24	0,07	3,43	76,0	24,0
npore[1])	?	0,22	0,07	3,61	75,0	25,0
cutta	1891	0,17	0,12	3,32	59,7	40,3
Guayana	1890—1900	0,06	0,08	3,32	39,1	60,9
io	1883—1885	0,13	0,09	3,20	61,6	38,4
chen	1864—1866	0,48	0,16	2,42	75,0	25,0
nia	1888—1889	0,33	0,16	2,26	66,8	33,1
Java	1891	0,11	0,06	2,03	61,5	38,5
seeland	1884—1888	0,08	0,17	1,81	30,7	69,3

[1]) Leather, Über die Zusammensetzung des Regens und Taus ndien, Mem. Dep. Agr. Ind., Vol. I, No. 1., p. 1.

Der Spielraum, in welchem die mit den atmosphärischen Niederschlägen dem Boden zugeführten Mengen von gebundenem Stickstoff schwanken, ist ein so weiter, 1,81 bis 22,12 kg N auf 1 ha, daß es sich nicht verlohnt, einen Durchschnitt für die Erde zu berechnen, wofür die geographische Verteilung der Beobachtungsorte vielleicht in gewissem Grade eine Möglichkeit geben würde. Es kommt hinzu, daß die Beobachtungen in sehr verschiedenen Jahren angestellt sind. Die Stickstoffmengen der einzelnen Jahre aber schwanken um Beträge von nahe 100 Proz.[1]).

Immerhin vermögen selbst diese Schwankungen die großen Unterschiede der Örtlichkeit in den Stickstoffmengen nicht auszugleichen, und man muß Welbel zustimmen, wenn er behauptet, daß jeder Ort seinen ganz bestimmten Gehalt der Luft an gebundenem N aufzuweisen hat, welcher natürlich durch die Gesamtsumme der klimatischen und sonstigen lokalen Faktoren bedingt wird. Die Tabelle scheint zu der Annahme zu berechtigen, daß die alten Kulturländer einen höheren Stickstoffgehalt der Niederschläge, also der Atmosphäre, aufzuweisen haben als die mehr im Naturzustande sich befindenden Gebiete, was wohl als einfache Folge der dichteren Besiedelung und stärkeren industriellen Betätigung mit den dadurch gesteigerten Möglichkeiten des Entweichens von gebundenem Stickstoff in die Luft, aufzufassen ist.

Dafür, daß es sich hier um keine eigentliche Stickstoffbindung, sondern nur um Entweichen von Stickstoff aus dem Boden handelt, spricht mit voller Deutlichkeit die Tatsache, daß es vorwiegend Ammoniakstickstoff ist, welcher in den Niederschlägen dieser Länder mehr gefunden wird, während die mehr noch im Naturzustande befindlichen Gebiete vorwiegend Nitratstickstoff in der Luft aufzuweisen haben. Dies wird besonders deutlich durch folgende Gruppierung der Beobachtungsstationen nach dem Prozentsatz an Nitratstickstoff in der Gesamtmenge, geordnet nach aufsteigenden Zahlen, welche der prozentischen Abnahme an Ammoniakstickstoff entsprechen. Es hatten Prozente N als N_2O_5 aufzuweisen (und entsprechend Ammoniakstickstoff):

---

[1]) Vgl. Welbel, Travaux du Lab. Ploty 1900, p. 44 und 1901, p. 42.

1 bis 25 Proz.	26 bis 35 Proz.	36 bis 100 Proz.
loty . . . . . 6,7 Proz.	Florenz . . . 26,2 Proz.	Insterburg . . 36,9 Proz.
ahme . . . . 17,4 „	Venezuela . . 27,2 „	Tokio. . . . . 38,4 „
openhagen 19,2 „	Ceylon . . . . 28,0 „	Ost-Java . . . 38,5 „
egenwalde 23,0 „	Kansas . . . . 28,2 „	Kalkutta . . . 40,3 „
embloux . . 23,2 „	Peček . . . . 28,4 „	Dehra-Dun 41,2 „
ontsouris. . 23,7 „	Vallombrosa 29,3 „	Mauritius . . 48,2 „
ississippi . . 24,0 „	Rothamstedt 29,4 „	Br.-Guayana 60,9 „
awnpore . . 25,0 „	Acandicci . . 30,2 „	Neuseeland 69,3 „
uschen . . . 25,0 „	Liebwerda . . 31,9 „	Barbados . . . 76,1 „
Kulturländer	St. Michele . 32,7 „	Naturländer
	Catania . . . 33,1 „	
	Proskau . . . 35,0 „	

Daß Ausnahmen auch in dieser Tabelle vorkommen, ist ach Obigem nur zu erwarten. In großen Zügen aber weist die ier sich ergebende Gruppierung der Beobachtungsorte darauf in, daß mit Abnahme der industriellen Tätigkeit in erster inie die relative Menge des Nitrats in der Atmosphäre steigt, ie des Ammoniaks sinkt, damit ihren Ursprung von der Erde ekundend. Die relative Menge der Salpetersäure steigt desto öher, je mehr natürliche Verhältnisse obwalten, da eben Saletersäure hauptsächlich Naturprozessen ihre Entstehung verankt. Wo diese Naturprozesse, vor allem Gewitter, häufig sind, a müssen schließlich die Salpetersäuremengen die Ammoniakengen nicht nur erreichen, sondern bei verringerter Bildungsöglicheit der letzteren sie sogar übertreffen. Das ist in troischen Zonen mit geringer Industrie der Fall. Wir finden olche Orte in der Tat in der letzten Rubrik der obigen Tabelle ast ausschließlich vertreten. Die Ausnahmen, wie Tokio, finden eilweise auch durch Berücksichtigung der Verhältnisse zur Zeit er Untersuchung ihre Erklärung und fügen sich der Tabelle öllig ein.

Man braucht zum Nachweis des Gesagten aber nicht einmal ageverschiedenheiten wie obige in Rechnung zu ziehen. Schon uf verhältnismäßig kleinem Raum ergibt sich ein gleiches. Folende Zahlen sprechen eine deutliche Sprache:

	Mittl. Gehalt der Niederschläge (Milligramm N pro Liter)	
	als NH_3	als N_2O_5
England, Kontinent	0,88	0,19
„ Städte	4,25	0,22
Schottland, Küste	0,61	0,11
„ Kontinent . . .	0,44	0,08
„ Städte	3,15	0,30
„ Glasgow	7,49	0,63

Die Tabelle ist so instruktiv, daß jede Erläuterung sich erübrigt.

Um noch einmal kurz zu resümieren: Die an sich schon nicht großen Stickstoffmengen, welche in gebundener Form in der Atmosphäre enthalten sind, müssen, wenn es darauf ankommt, den eigentlichen Gewinn durch Bindung des Stickstoffs aus der Atmosphäre zu veranschlagen, noch ganz beträchtlich herabgesetzt werden. Eine genaue Grenze, wie weit das geschehen muß, läßt sich schlechterdings nicht ziehen. Mit besonderer Vorsicht ist jedenfalls der Ammoniakstickstoff in Rechnung zu stellen.

Im günstigsten Falle wird es sich um wenige Kilogramm N pro Hektar und Jahr handeln, eine verschwindend kleine Menge gegenüber den gewaltigen Stickstoffmassen des Luftraumes. Jedoch reichen diese kleinen Stickstoffmengen hin, um bei Neuland die Existenz anspruchsloser niederer Gewächse zu ermöglichen, die von Jahr zu Jahr die Stickstoffgewinnste, so klein sie sein mögen, in ihren Leibern häufen, vor allem aber organische Substanz erzeugen, welche ihrerseits Anstoß zu erheblich intensiverer Stickstoffbindung, als es in der Atmosphäre geschah, gibt, indem sie den kosmopolitischen, Stickstoff sammelnden Bakterien intensive Tätigkeit gestattet.

IV. Die Bindung von atmosphärischem Stickstoff durch frei lebende Bakterien.

1. Grundlagen und Vorarbeiten.

Wie groß die Stickstoffmengen sind, welche alljährlich die Vegetation des Landes in ihren Leibern festlegt, entzieht sich jeder Schätzung, nicht minder das Maß der Stickstoffmengen,

welche den Leib der landbewohnenden tierischen Organismen bilden. Und an den Gestaden des Meeres mit seiner Unzahl von Organismen pflanzlicher und tierischer Natur, welche gleichfalls auf den Stickstoff ihres Protoplasmas ihre Lebenstätigkeit basieren, steht völlig jede Rechnung still. Der Bedarf der Natur für ihre Geschöpfe an gebundenem Stickstoff ist offenbar ein ganz ungeheurer. Es ist oben bereits genügend darüber gesprochen und erübrigt es sich daher, noch einmal des genaueren auf diese Frage einzugehen.

Desgleichen haben wir bereits oben kennen gelernt, wie zahllose Prozesse in der belebten und unbelebten Natur darauf hinwirken, den vorhandenen Vorrat an gebundenem Stickstoff zu verringern, indem sie das Element aus seinen Bindungen befreien und damit für die Organismenwelt der Hauptsache nach wertlos machen.

Diesen Verlusten gegenüber vermögen die minimalen Gewinne an gebundenem Stickstoff, welche durch elementare Naturvorgänge erzielt werden, kaum eine Rolle zu spielen, wenngleich die Wissenschaft heute noch nicht in der Lage ist, die Verluste, welche den geringen festgelegten Zunahmen an gebundenem Stickstoff gegenüberstehen, genau zu beziffern. Es klafft hier offenbar im Kreislauf des Stickstoffs in der Natur in unserem Wissen noch eine Lücke.

Die Wichtigkeit des Stickstoffs als des Haupterhalters allen Lebens ist anerkannt. Eine Abnahme, oder präziser ausgedrückt, eine absolute Verringerung des der Lebewelt zur Verfügung stehenden Kapitals an gebundenem Stickstoff auf der Erde müßte sich folgerichtig in einer ständig geringer werdenden Üppigkeit allen Erdenlebens, in erster Linie des pflanzlichen und, da die Tiere nicht mit Unrecht als die Parasiten der Pflanzen, wenn dieser Ausspruch auch paradox klingt, bezeichnet sind, schließlich auch des tierischen äußern. Denn selbst einen ganz ungeheuren Vorrat an gebundenem Stickstoff in den Anfängen der Erdgeschichte vorausgesetzt, der sicher nicht vorhanden gewesen ist, müßte doch in dem Verlaufe der endlosen Jahrtausende heute schon ein erhebliches Minus fühlbar sein, eine Differenz zwischen der Üppigkeit des Erdenlebens einst und jetzt.

Wohl ist diese Differenz anscheinend vorhanden. Wo einst die Wälder der Steinkohlenzeit grünten in kaum vorstellbarer

Üppigkeit, wo Wesen wandelten, von deren Größe und vielleicht auch Zahl wir uns nach ihren Resten nur eine schwache Vorstellung machen können, ist heute vielleicht öde Steppe, ja Wüste, die nur wenigen abgehärteten Vertretern der Pflanzen- und Tierwelt ein kümmerliches Dasein gestattet. Aber diese Differenz hat mit einer Abnahme der Zeugungskraft der Erde nichts zu tun, sie ist eine einfache Folge des veränderten Klimas.

Wo heute noch die Temperatur und Feuchtigkeit jener Erdperiode herrschen, da treibt auch heute noch eine Flora, die jener an Gewaltigkeit und Üppigkeit nichts nachgibt, noch heute beleben in den für sie geeigneten Gebieten Tiere Meer und Land, die sich selbst vor den gewaltigsten Sauriern kaum zu verstecken brauchen.

Es mußte offenbar dem Stickstoff als Element außer durch Vorgänge in der Atmosphäre noch ein Weg offen stehen, um in gebundener Form wieder in den Kreislauf des Lebens zu treten, und zwar in einem Maße, von welchem man sich zwar nicht in seiner Gesamtheit, wohl aber in einzelnen Fällen eine gute Vorstellung machen kann.

Nach Henry[1]) legt Buchenwald pro Hektar und Jahr an Stickstoff fest:

in 3000 kg Holz	15 bis 25 kg N
„ 3000 „ Blätter	30 „ „
zusammen . . .	45 bis 55 kg N,

d. h. Stickstoffmengen, welche aus der Atmosphäre auf keinen Fall gedeckt werden können. „Brachte er aber dürre Blätter von jungen Eichen und Hagebuchen in metallene Kästen, deren Boden mit Kalkstein oder Sandsteinplatten ausgelegt und deren obere Öffnungen mit Drahtgitter bedeckt waren, und setzte sie 60 cm über dem Boden frei der Luft aus, so war nach einem Jahre der Stickstoffgehalt der Eichenblätter von 1,108 auf 1,923 Proz., also um 0,815 Proz. der Trockensubstanz, der Buchenblätter von 0,947 auf 2,246 Proz,, also um 1,299 Proz. der Trockensubstanz gestiegen.

Die Gesamtmasse der Eichenblätter hatte sich in dieser Zeit um 21,62 Proz., die der Buchenblätter um 23,01 Proz. vermindert. Nimmt man nun den ungünstigsten, sehr unwahrscheinlichen

[1]) Lafar, Techn. Mykologie, Bd. III.

Fall an, daß das Gewicht sich nur durch Verschwinden der stickstofffreien Stoffe (Cellulose, Stärke usw.) vermindert habe und daß durch Regenwasser keinerlei lösliche Stickstoffverbindungen fortgeführt waren, so würde sich der beim Abschluß des Versuches gefundene Stickstoffgehalt, auf das ursprüngliche Gewicht der Blätter bezogen,

für die Eichenblätter auf . . .	1,508 Proz.
„ „ Buchenblätter „ . . .	1,727 „

reduzieren. Folglich beträgt der absolute Stickstoffgewinn

der Eichenblätter	0,400 Proz.
„ Buchenblätter	0,780 „

Die ein Jahr lang der Luft ausgesetzten Blätter sind also relativ doppelt so reich an Stickstoff als zur Zeit des Abfalles von den Bäumen, und auch die absolute Stickstoffzunahme ist merklich. Wenn der Boden im Herbst pro Hektar 3300 kg dürre Blätter empfängt, so beträgt der absolute Stickstoffgewinn für diese Fläche

durch Eichenblätter	13 kg
„ Buchenblätter	22 „

Diese Stickstoffmengen kommen denen, welche im Holze alljährlich festgelegt werden, ungefähr gleich. Diese für die Stickstoffbilanz des Waldes sehr wesentliche stickstoffbindende Fähigkeit der abgefallenen Blätter führt Henry, wie bemerkt, auf niedere Organismen, die sich auf den Blättern ansiedeln, zurück."

Auf landwirtschaftlichem Gebiete kamen verschiedene Autoren zu denselben Schlußfolgerungen, daß nämlich Stickstoff bindende Mikroorganismen im Boden vorhanden sein müßten.

Besonders schwerwiegend war in dieser Beziehung die Meinung von Kühn [1]).

In der Hallenser Einfelderwirtschaft, in welcher seit mehr als 20 Jahren Winterroggen auf Winterroggen gefolgt ist, machte sich trotzdem sogar auf der ohne jede Düngung gelassenen, sowie auf der nur mit stickstofffreien Mineralsalzen gedüngten Parzelle eine Steigerung der Erträge bemerkbar.

---

[1]) Bericht aus dem phys. Laboratorium und der Versuchsanstalt d. Landwirtsch. Inst. Halle 15, 169.

	1879 Ernte pro Hektar		Durchschnitt 1894/98 Ernte pro Hektar	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh
Ungedüngt	1820	2490	1974	3914
Stickstofffreie Düngung . .	1770	2520	1976	4363

Da Stickstoffdüngung einen erheblichen Mehrertrag ergab, also gut wirkte, konnte von einem großen Stickstoffvorrat des Bodens nicht die Rede sein, und der durch die Niederschläge zur Erde gelangende Stickstoff reicht nicht aus, eine solche Erntemenge bzw. Erntesteigerung zu erzeugen. Und zwar ergibt sich nach Kühn ein Defizit von 32,87 Pfund auf den Morgen, „für welches ein Faktor der Stickstoffassimilation vorausgesetzt werden muß, der bisher nicht genügend beachtet wurde".

Kühn nimmt als diesen Faktor die Tätigkeit von stickstoffsammelnden Bakterien im Boden an (von welchen durch Schneidewindt und Krüger[1]) aus dem Boden des Hallenser Versuchsfeldes Vertreter gezüchtet wurden, die später als Azotobakterarten erkannt wurden). Den genauen Nachweis, daß es sich bei dieser Stickstoffassimilation um Mikroorganismen handelte, erbrachte Berthelot[2]), welcher durch Erhitzen auf 100° C der Erde die Fähigkeit der Stickstoffbindung nahm und in zahlreichen Versuchen als erster feststellte, in welchen Grenzen sich die Stickstoffbindung im Boden bewegt. Bei seinen Versuchen lagen die erzielten Stickstoffgewinne zwischen 5 und 10 mg N auf 50 kg Erde, und schätzt er daher die Menge des auf diese Weise fixierten Stickstoffs pro Hektar und Jahr für eine Ackerkrume von 8 bis 10 cm Dicke für gelben tonigen Sandboden auf 15 bis 25 kg, für Kaolin auf 32 kg (vgl. auch Lafar, Techn. Mykologie 3, 5).

Angeregt durch Berthelots Beobachtungen begann dann Caron auf Ellenbach, ein praktischer Landwirt, seine Versuche über den Einfluß der Bakterientätigkeit auf das Wachstum der Halmfrüchte, welche zur Züchtung der Alinitbakterien, von der Elberfelder Firma Bayer u. Co. als Reinkultur des Bacillus

[1]) Landw. Jahrb. 1899, S. 217 und 1900, S. 771.
[2]) Chimie végétale 1 (1899), Paris.

ellenbachiensis unter dem Namen „Alinit“ in den Handel gebracht, führten. Es hat sich an das Alinit eine umfangreiche Literatur geknüpft, viele Stimmen sind für und gegen laut geworden, im wesentlichen hat es heute nur noch historische Bedeutung (vgl. Lafar 3, 21).

Die Impfversuche mit Alinit haben sich nicht bewährt und konnten sich der Natur der Sache nach auch nicht bewähren, besonders nicht in der Richtung der Stickstoffbindung. Denn von allen Autoren, welche Bac. ellenbachiensis untersuchten, vermochten nur Stoklasa [1]) und Jakobitz [2]) eine geringe Fähigkeit der Stickstoffassimilation unter besonders günstigen Bedingungen festzustellen, während andere Autoren geneigt sind, in ihm nur einen besonders guten Fäulniserreger zu sehen, der diese Fähigkeit mit sehr vielen anderen Mikroorganismen teilt. Sogar seine Identität als besondere Spezies ist nicht über allen Zweifel erhaben, wird vielmehr bzw. wurde in der Zeit, da die Caronschen Versuche im Vordergrunde des Interesses standen, von manchen Seiten angegriffen. So wollte man den Bacillus ellenbachiensis mit Bac. megatherium de Bary identifizieren.

Immerhin war, wenn ein positiver Erfolg durch alle diese Untersuchungen auch noch nicht erzielt war, doch die Frage nach der Stickstoffassimilation im Boden ins Rollen gebracht. Ihr Vorhandensein war bestätigt und wurde des weiteren durch zahlreiche Arbeiten, von welchen nur die von Tacke [3]) und Déherain [4]), welche im Sinne Berthelots arbeiteten, genannt seien, weiter belegt. Es war im gewissen Sinne auch bereits der Weg gewiesen, auf welchem ein Erfolg der weiteren Arbeiten zu erwarten war, indem sich nämlich gezeigt hatte, daß Armut an Stickstoffverbindungen neben Reichtum an stickstofffreien Kohlenstoffverbindungen die Assimilation besonders zu begünstigen schienen. So konnten dann die speziellen Entdeckungen auf diesem Gebiete, wie es geschah, Schlag auf Schlag sich einstellen.

---

[1]) Lafar 3, 23.
[2]) Zeitschr. f. Hygiene 45, 97.
[3]) Landw. Jahrb. 18, 453.
[4]) Compt. rend. 1900, p. 465.

2. Clostridium pasteurianum Win. und Verwandte.

In konsequenter Anwendung der im vorigen Kapitel zum Schlusse skizzierten Prinzipien: Kohlenstoffreichtum und Stickstoffarmut der zur Züchtung verwandten Nährböden, gelang es als erstem dem russischen Forscher Winogradsky, eine stickstoffbindende Bakterienform zu isolieren [1]).

Die zur Anwendung gebrachte Nährlösung hatte folgende Zusammensetzung: Es wurden in 1 Liter Wasser gelöst:

1,0	g	K_2HPO_4
0,2	„	$MgSO_4$
0,01 bis 0,02	„	NaCl, $MnSO_4$, $FeSO_4$
20 „ 40	„	Traubenzucker (Dextrose)

und zu dieser Lösung wurde noch etwas $CaCO_3$ gefügt, um entstehende Säuren zu neutralisieren. Nährlösungen dieser oder sehr ähnlicher Zusammensetzung sind unter dem Namen der „Winogradskyschen Nährlösung" vielen weiteren Arbeiten auf dem Gebiete der Züchtung von stickstoffsammelnden Bodenbakterien zugrunde gelegt.

Die sterilisierte Lösung wurde mit Erde aus dem Garten des Petersburger Instituts Winogradskys geimpft. In der Mehrzahl der Fälle trat Buttersäuregärung und gleichzeitig eine Anreicherung der Lösung, die praktisch von Anfang an stickstofffrei war, an Stickstoff ein, der nur durch die Tätigkeit der Mikroorganismen eingefangen sein konnte. Bei fortschreitender Gärung der Flüssigkeit traten kephyrkornähnliche Flocken auf, die aus den verschiedensten Bakterien bestanden. Aus dem gebotenen Zucker bildeten sich flüchtige Fettsäuren, nämlich Buttersäure und Essigsäure (4 : 1), andererseits Kohlensäure und Wasserstoff (60 bis 75 Vol.-Proz. H), ein Beweis, daß man es mit echten Buttersäurebakterien zu tun hatte, von welchen ein typisches Clostridium an Zahl besonders reichlich vertreten war.

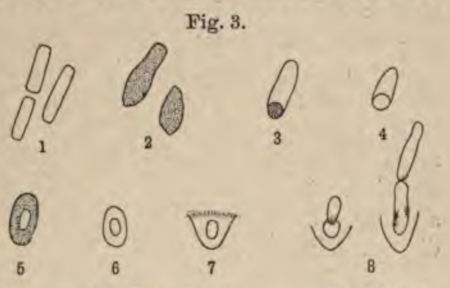
Durch wiederholtes Überimpfen des Bakteriengemisches auf Nährlösungen der gleichen Zusammensetzung: die von Winogradsky erfolgreich ausgebildete Methode der elektiven

[1]) Compt. rend. 116, 1385 (1893); ibid. 118, 353 (1894). Arch. des sciences biol. publ. par l'Institut imp. St. Pétersbourg 3, 297 (1895); Zentralbl. f. Bakt. 2, 43 (1902) und Zusammenfassung Lafar, Techn. Mykol. 3, 5 ff.; ferner Luter, Les microorganismes fixateurs d'azote, Paris 1904.

Kultur, ließ sich die Zahl der vorhandenen Bakterien allmählich beschränken. Und durch zehn Minuten langes Erhitzen bis auf 75° gelang es, alle Mikroorganismen bis auf drei Arten zu entfernen: das schon erwähnte Clostridium und zwei andere Bakterien. Impfung mit diesem Gemisch rief stets sofortige Gärung und N-Assimilation in den Lösungen hervor.

Während die Kultur der zwei Begleiter des Clostridiums ohne Schwierigkeiten auf dem gewöhnlichen Gelatinenährboden gelang, waren sie auf N-freien Nährböden nicht zum Wachstum zu bringen, schieden mithin als Stickstoffsammler aus. Die Kultur des Clostridiums stieß anfänglich auf große Schwierigkeiten, bis Winogradsky seinen Charakter als Anaerobier erkannte und ihm im sauerstofffreien Raume bzw. Vakuum die Züchtung auf Möhren und Kartoffelscheiben gelang. Auch auf stickstofffreiem Nährboden ließ sich im Stickstoffstrom üppiges Wachstum erzielen, verbunden mit Buttersäuregärung und Assimilation von Stickstoff.

Fig. 3.



Schema der Entwickelung von Clostridium pasteurianum (nach Winogradsky).

1. Stäbchen. 2. Clostridiumformen. 3. bis 6. Sporenbildung. 7. Reife Spore in der Sporenkapsel. 8. Keimung der Spore.

So war die erste Reinkultur eines stickstoffbindenden Bakteriums gelungen. Zu Ehren Pasteurs gab Winogradsky seiner Züchtung den Namen Clostridium pasteurianum. Daß das anaerobiotische Clostridium in Rohkulturen auch bei Luftzutritt üppig wuchs, erklärt sich in der Weise, daß die begleitenden makroaerophilen Bakterien den vorhandenen Sauerstoff begierig für sich verbrauchten und so das Clostridium davor schützten. Diese Rolle können nachgewiesenermaßen die verschiedensten Bakterien spielen, ein Verhalten, das für das Wachstum unter natürlichen Bedingungen von Bedeutung ist.

Kurz zusammengefaßt, gilt für Clostridium pasteurianum Win. nachstehende Diagnose (vgl. Fig. 3).

„Die in der Jugend 1,2 bis 1,3 μ dicken und 1,5 bis 2,0 μ langen Stäbchen des Mikroorganismus blähen sich vor der Sporen-

bildung zu der typischen Spindelform auf, welcher das Clostridium seinen Namen verdankt. Jod ruft in den Spindeln in der für andere verwandte Formen bekannten Weise intensive Violett- bis Braunfärbung hervor. Mit fortschreitender Sporenbildung verliert diese Reaktion an Stärke, um schließlich ganz zu versagen [1])." Eigentümlich für die in Rede stehende Form ist das Verhalten der Mutterzellmembran nach eingetretener Sporenreife. Zu dieser Zeit zeigt diese Membran nicht die sonst übliche Verquellung, sondern bleibt scharf konturiert und umgibt eine hyaline Substanz, welche die Sporen einschließt und sich mit Anilinfarbe kaum färbt. Nun wird wahrscheinlich durch die aufquellende hyaline Substanz die Membran der Mutterzelle an einem Pole gesprengt und weit geöffnet. Die reifen 1,6 μ langen, 1,3 μ breiten Sporen liegen jetzt in einem abgerundeten, dreieckigen Gallertpolsterchen, der Sporenkapsel, eingebettet, das an zwei Seiten scharfe, an der dritten, der Öffnung, verwaschene Konturen zeigt. Diese Sporenkapseln, die für die beschriebene Art charakteristisch sind, sind auch in sieben Jahre altem Material noch sichtbar. Die Sporen keimen polar und zwar stets an dem gegen die Sporenkapselöffnung liegenden Pol (vgl. Abbildung oben).

Die Bakterien sind beweglich, Begeißelung ist noch nicht wahrgenommen.

Wenn Clostridium dauernd auf einen stickstoffreichen Nährboden, z. B. Kartoffeln, umgeimpft wird, degeneriert es und verliert schließlich die Fähigkeit der Sporenbildung.

Über seine chemischen Fähigkeiten, abgesehen von der Stickstoffbindung, deren Behandlung einem späteren Abschnitt vorbehalten bleibt, gibt folgende Zusammenstellung Aufschluß [2]):

Clostridium pasteurianum vergärt:

auf Nährboden	in N-Atmosphäre	in Tiefenkultur
ohne gebund. Stickstoff	Traubenzucker	—
mit Pepton	—	Dextrose, Rohrzucker, Lävulose, Inulin, Galactose, Dextrin
mit $(NH_4)_2SO_4$	—	Dextrose, Rohrzucker, Inulin

[1]) Lafar 3, 6.
[2]) Pringsheim, Zentralbl. f. Bakt. (II) 16, 798 (1906).

Gärprodukte sind Buttersäure, Essigsäure und Milchsäure (?), Wasserstoff und Kohlensäure neben verschiedenen höheren Alkoholen. In bezug auf die Bildung von Alkoholen wird Clostridium mehr durch die Art der Kohlenstoff- als der Stickstoffnahrung beeinflußt. Winogradsky selbst hat die Bildung von Äthyl-, Normalpropyl-, Isobutyl- und Normalbutyl-Alkohol beobachtet.

Was die Bildung von Säuren (s. oben) anbelangt, so war in einer Lösung von 40 g Dextrose im Liter bei Reinkultur von Clostridium pasteurianum im Stickstoffstrom nach 20 Tagen der ganze Zucker verschwunden und 44,7 Proz. desselben zu 3,714 g Essigsäure und 14,164 g Normalbuttersäure vergoren. „Das Verhältnis der flüchtigen Säuren schwankt in verschiedenen Versuchen stark. Ebenso ist im Verlauf eines und desselben Versuches das Verhältnis der Menge der gebildeten Masse $CO_2 : H$ schwankend. Im allgemeinen nimmt während des Gärungsverlaufs die Kohlensäuremenge im Gasgemisch zu."

Das beschriebene Bakterium wurde von Winogradsky in Petersburg und Paris gefunden und von Keutner[1]) im Meere entdeckt, dessen regelmäßiger Bewohner es zu sein scheint. Auch sonst ist das Vorkommen von verschiedenen Seiten gemeldet. In Südrußland, Podolien, Wolhynien fand Winogradsky selbst eine etwas abweichende Form, charakterisiert durch Blaufärbung mit Jod. Schwache Befähigung zur Stickstoffbindung fand derselbe Forscher nur noch bei zwei auf Kartoffelscheiben isolierten verwandten Formen, denen größere Bedeutung kaum zukommen dürfte.

In letzter Zeit, im Jahre 1906, ist unsere Kenntnis der stickstoffbindenden Clostridiumarten wesentlich bereichert worden.

In erster Linie ist hier Clostridium americanum zu nennen, welches Pringsheim von amerikanischen Kartoffeln isoliert hat[2]). Es gelang diese Isolierung nur durch den Kunstgriff, der zur Vergärung bestimmten Zuckerlösung erst eine geringe Menge von schwefelsaurem Ammoniak zuzusetzen, und nimmt Pringsheim an, daß den Bakterien die Fähigkeit der N-Assimilation durch das lange Leben auf einem so stickstoffreichen Nährboden wie Kartoffel verloren gegangen und durch die allmähliche Entziehung des gebundenen Stickstoffs wieder angewöhnt worden war.

[1]) Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, Abt. Kiel, N. F., 8.
[2]) Zentralbl. f. Bakt. (II) 16, 795 (1906).

Hervorzuheben ist bei der neuen Form die peritriche Begeißelung und das Fehlen der für Clostridium pasteurianum charakteristischen Sporenkapsel. In chemischer Hinsicht ist bemerkenswert, daß Cl. americanum Lösungen auch im offenen Kolben in Reinkultur vergärt und N assimiliert, mithin ein Aerobier ist. Die Schnelligkeit der Gärung unter den Bedingungen der Stickstoffassimilation ist geringer als bei Cl. pasteurianum. Folgende von Pringsheim aufgestellte Vergleichstabelle gibt eine Übersicht über die von den beiden Bakterien unter verschiedenen Bedingungen vergorenen Substanzen (s. a. oben) und ihre Produkte:

Clostridium pasteurianum Gärprodukte	Clostridium americanum Gärprodukte
Buttersäure, Essigsäure, Milchsäure?	Buttersäure, Essigsäure, Milchsäure?
Wasserstoff, Kohlensäure	Wasserstoff, Kohlensäure
Nach der Art der Kohlenstoff- oder Stickstoffquelle verschiedene höhere Alkohole: Isobutyl-Normalbutyl-Äthylalkohol	Auf Kartoffel- oder Traubenzuckerpepton: $^1/_4$ Isopropylalkohol; $^3/_4$ Normalbutylalkohol

	vergärt		vergärt	
	in N-Atmosphäre	in Tiefenkultur	in Wasserstoffatmosphäre	in Tiefenkultur
ohne geb. N	Traubenzucker	—	—	Traubenzucker, Rohrzucker
mit Pepton	—	Dextrose, Rohrzucker, Lävulose, Inulin, Galactose, Dextrin	Dextrose, Rohrzucker, Lävulose, Galactose, Maltose, Mannit, Glycerin, Stärke, Milchzucker	Stärke, Rohrzucker, Dextrose, Milchzucker, Dextrin, Mannit
mit $(NH_4)_2SO_4$	—	Dextrose, Rohrzucker, Inulin	—	Stärke, Rohrzucker, Dextrose, Milchzucker, Dextrin, Mannit
mit $NaNO_3$	—	—	—	Dextrose, Rohrzucker, Mannit

Die Stickstoffassimilation geht langsamer vor sich bei Clostridium americanum; die Größe der Assimilation ist die gleiche, wenn nicht eine höhere.

Anknüpfend an die oben zitierten Untersuchungen Henrys haben Haselhoff und Bredemann aus Laub und Erde eine Anzahl anaerober, stickstoffsammelnder Clostridien gezüchtet, von welchen fünf Formen in Reinkultur erhalten und genau beobachtet wurden [1]), während die übrigen Organismen noch nicht näher untersucht sind. Sie erhielten die Bezeichnungen Clostridium α — ε. Ihre kurze morphologische Charakteristik möge hier folgen:

Clostridium α wurde in drei verschiedenen Erdproben gefunden, im Gartenboden, mit Kartoffeln bestelltem Neulande und am Rande eines Weggrabens, sämtlich in der Umgegend von Marburg. Die Reinkultur gelang auf Gipsplatten und stickstofffreier Dextrose-Agarplatte und bot einige Schwierigkeit durch einen stets wiederkehrenden fädigen Organismus, welcher sich sehr schwer entfernen ließ. Auf Agar zeigte sich die Kolonie als dünne, weiße Haut, bei starker und gleichmäßiger Trübung des Kondenswassers unter reichlicher Gasbildung, die auch den Agar oft zerklüftete. Das Wachstumsoptimum lag bei 28° C im Vakuum. Die Stäbchen haben eine Länge von 2,0 bis 5,5 μ bei 0,6 bis 0,8 μ Breite. Eigenbewegung wurde nicht sicher beobachtet. Mit fortschreitendem Alter machte sich eine starke Glykogenbildung, erkenntlich durch die Reaktion auf Jod, bemerkbar, während gleichzeitig die Größe der Stäbchen stieg. Nach drei Wochen trat Sporenbildung ein, vorausgesetzt, daß das Vakuum gut war, da im anderen Falle eine schnelle Degeneration unter Wegfall der Sporenbildung sich einstellte. Die typische Clostridiumform mit meistens polar liegender Spore tritt besonders in stickstofffreier Nährlösung auf. Die Form der Sporangien ist sehr wechselnd. Die Sporen sind denen von Clostridium pasteurianum durch die stets anhängende, an einer Seite geöffnete Sporangienmembran, der Sporenkapsel nach Winogradsky, außerordentlich ähnlich. Die Membran haftet an der Spore sehr fest, die Keimung erfolgt genau wie bei Clostridium pasteurianum.

Clostridium β wurde durch Gipsplattenreinkultur aus einem Kartoffelfelde bei Marburg gewonnen. Es gleicht morpho-

---

[1]) Landw. Jahrb. 1906, S. 380 ff.

logisch dem Clostridium α sehr, nur ist es etwas größer und neigt zur Fadenbildung, wobei oft Fäden von 40 μ Länge entstehen. Die bei Clostridium α während des ganzen Reifungsprozesses der Sporen vorhandene starke Glykogen-Jogen-Reaktion nimmt bei Clostridium β, entsprechend dem Verhalten von Clostridium pasteurianum, mit der Bildung der Sporen allmählich ab bis auf eine schwache Granulierung. Typische Clostridiumformen kommen selten vor. Öfters findet man Sporangien mit zwei endständigen Sporen. Die den Sporen anhaftende Sporangienmembran ist ungefärbt kaum sichtbar und sehr zart.

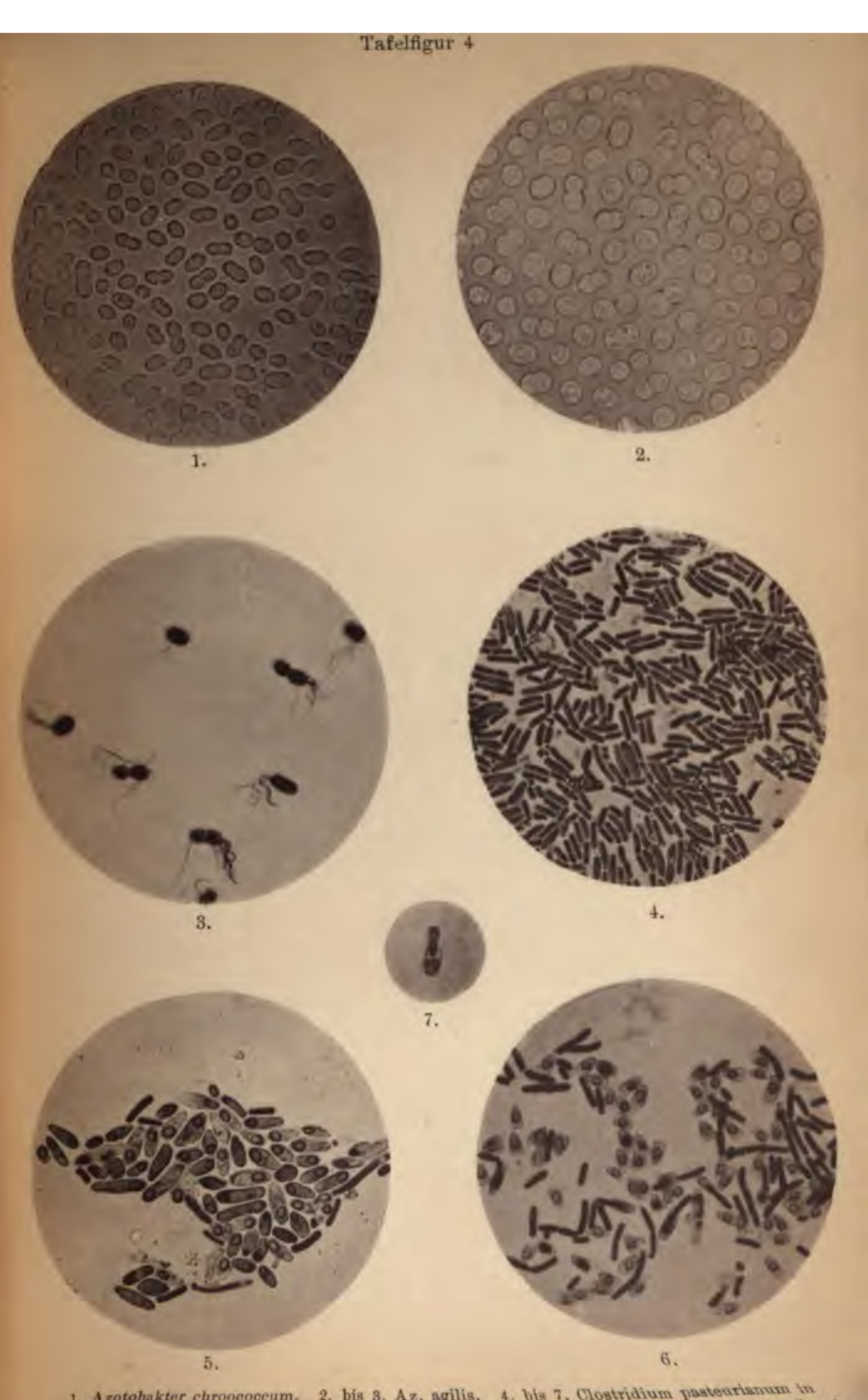
Clostridium γ, aus dem Boden eines mit Erbsen- und Wickengemisch nach Roggen bestellten Ackers gleichfalls in der Umgegend von Marburg isoliert, zeichnet sich durch seine geringe Größe aus. Bei 0,4 bis 0,6 μ Breite ist die Länge der Stäbchen verschieden. Durchschnitt 0,4 μ Breite bei 4,0 μ Länge. Häufig sind kürzere Ketten auf Agar, längere Fäden in Nährlösung. Die Kolonie auf Dextroseagar ist sehr dünn, weich und weiß und nur in der unteren Hälfte der Röhre entwickelt. Schwache Eigenbewegung ist vorhanden.

Die Sporangien sind trommelschlägerförmig mit meist sehr kurzem Stiel, der zuweilen auch ganz fehlt. Auffallend ist die sehr geringe Glykogenspeicherung, die oft, der Jodreaktion nach zu schließen, gänzlich fehlt. Die Spore wirft die Sporangienmembran zum Unterschied von Clostridium α und β stets ab, was charakteristisch ist.

Clostridium δ, aus dürrem Buchenlaub isoliert, ähnelt sehr den vorher beschriebenen Formen. Es ist ein 0,6 bis 0,7 μ breites und 3 μ langes Stäbchen mit schwacher Eigenbewegung. Die Sporangien sind entweder bauchig geschwollen, in welchem Falle die Glykogenspeicherung gering ist, oder trommelschlägerförmig und enthalten dann viel Glykogen. Die Sporen, welche stets die Sporangienmembran abwerfen, färben sich mit Anilinfarbe leicht und tief, kaum mit Jodjodkali. Exine und Intine sind deutlich zu unterscheiden.

Clostridium ε wurde von grünem Buchenlaub isoliert. Es ähnelt dem vorher beschriebenen sehr, die Sporangien dagegen gleichen ganz denen von Clostridium β. Die Sporen werfen die Sporangienmembran stets ab. Charakteristisch sind in älteren Gärungsflüssigkeiten „Fäden mit lang zugespitzten Polen, ferner

Tafelfigur 4



1. *Azotobakter chroococcum.* 2. bis 3. Az. agilis. 4. bis 7. Clostridium pasteurianum in *verschiedenen* Stadien der Entwickelung: Stäbchen, Spindeln, Sporen und keimende Spore.

Nach **Lafar**, Handbuch der technischen Mykologie, Bd. III.

Sohn, Braunsc


THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

auch Doppelfäden, welche an den freien Polen zugespitzt, an den zusammenhängenden Polen etwas verdickt sind".

Über die chemischen Fähigkeiten der beobachteten Organismen, mit Ausnahme der Stickstoffbindung, gibt nachfolgende Tabelle Auskunft.

In N-freier Nährlösung nach Winogradsky mit einem Zusatz von 2 bzw. 1 Proz. der betreffenden Kohlenhydrate vermochte in N-Atmosphäre zu vergären:

Clostridium α	Clostridium β	Clostridium φ	Clostridium δ–ε
Dextrose, Lävulose, Rohrzucker, Milchzucker, Galactose, Lactose, Maltose, Melitose, Stärke, Dextrin, Inulin, Glycerin, Arabinose, Mannit	Dextrose, Lävulose, Milchzucker, Galactose, Lactose, Maltose, Melitose, Stärke, Dextrin, Inulin, Arabinose, Mannit, nicht Glycerin, Rohrzucker	wie Clostridium β	Dextrose nicht näher geprüft

Es ist also die Gärfähigkeit ein gutes Unterscheidungsmerkmal gegenüber Clostridium pasteurianum, welches nach Winogradsky nur Dextrose, Lävulose, Rohrzucker, Inulin, Galactose und Dextrin vergären kann.

3. Die Azotobaktergruppe und sonstige stickstoffsammelnde Bakterien (vgl. Tafelfigur 4, Abb. 1 bis 3 [1]).

Winogradsky hat in seinen Abhandlungen über Clostridium pasteurianum verschiedentlich die Ansicht ausgesprochen, daß die Fähigkeit der Verarbeitung des atmosphärischen Stickstoffs nur sehr wenigen Formen von Mikroorganismen zukäme. Dieser Behauptung trat von Anfang an Beyerinck entgegen, der im Gegensatz zu ihm sogar allerweiteste Verbreitung dieser stickstoffsammelnden Mikroorganismen und großen Art- und Zahlenreichtum für das Wahrscheinlichere erklärte. Nach seiner Auffassung lassen sich hinsichtlich ihres Stickstoffbedürfnisses alle Mikroorganismen in drei wohl unterscheidbare Gruppen trennen: Polynitrophile, Mesonitrophile und Oligonitrophile. Während die

[1]) Eine sehr gute, zusammenfassende Übersicht gibt Vogel im Zentralbl. f. Bakt. (II) 15, 33 ff. (1906), woselbst auch eine bis zum betreffenden Zeitpunkte vollständige Literaturübersicht.

Angehörigen der ersten beiden Gruppen reichliche Anwesenheit gebundenen Stickstoffs zu ihrem Gedeihen unbedingt erfordern oder doch wenigstens gut ertragen, kommt im Gegensatz dazu den Angehörigen der Gruppe der Oligonitrophilen die Fähigkeit zu, ohne das Vorhandensein größerer Mengen gebundenen Stickstoffs zu gedeihen und ihren Bedarf aus dem Stickstoff der atmosphärischen Luft zu decken, wenn ihnen nur die nötige Kohlenstoffnahrung geboten ist.

Unter Benutzung der von Winogradsky ausgebildeten elektiven Kulturmethode gelang es ihm in der Tat, bei Verwendung von Mannit als Kohlenstoffquelle einen großen, auffälligen Organismus zu intensivem Wachstum ohne Stickstoff zu veranlassen. Analysen der Kulturen zeigten sogar erheblichen Stickstoffgewinn. Ohne Schwierigkeit gelang dann weiter die Züchtung dieses im Gegensatz zu Clostridium pasteurianum aeroben Organismus auf Agar, der mit 2 Proz. Mannit und 0,02 Proz. K_2HPO_4 unter Verwendung von Leitungswasser hergestellt war, in Reinkultur. Beyerinck gab diesem damals ersten aeroben Stickstoffsammler den Namen Azotobakter und unterschied davon zwei Spezies: Azotobacter chroococcum und agilis, deren morphologische Diagnose die folgende ist (vgl. die Diagnose in Lafar 3, 8, sowie Beyerinck, Zentralbl. f. Bakt. 19, 561):

Bemerkenswert ist der starke Polymorphismus der ganzen Gattung, der indessen nicht vermag, die charakteristischen Merkmale in irgend einem Falle zu verwischen. Die Azotobakterarten sind in der Jugend meist als Diplokokken oder kurze Stäbchen von 4 bis 6 μ Dicke ausgebildete Mikroorganismen mit hyalinem, oft vakuolisiertem Inhalt, der in bestimmten Färbungen, namentlich mit Silbersalzen, oftmals kernähnliche Gebilde erkennen läßt.

Die Fähigkeit der Sporenbildung geht ihnen ab; sie sind makroaerophil. Die Bakteriennatur der Azotobakterarten ist nicht zweifellos geblieben. Benecke und Keutner z. B. behaupten, daß Azotobakter den Cyanophyceen zuzurechnen und vielleicht als farblose Aphanocapsa aufzufassen sei. Für das Aussehen der Zellen unter dem Mikroskop ist von größter Bedeutung die Art der Ernährung, da die Gestalt und auch die Größe in den weitesten Grenzen davon abhängig ist.

Azotobacter chroococcum ist in der Jugend langsam beweglich. Es ist eine einzelne polare Cilie beobachtet. Die Be-

wegung zeigt sich nicht bei sämtlichen Zellen einer Kultur, sondern immer nur vereinzelt. Im Alter sind die einzelnen Organismen mehr kugelig und von geringerer Größe, oftmals zu sarcinaähnlichen Paketen vereinigt.

In Mannitlösung sind charakteristisch, speziell in Rohkultur: „treibende Rohmembranen", die sich mit dem Alter dunkler färben. Kolonien auf festen Nährböden, wie dem oben erwähnten Mannitagar, zeigen bereits nach 24 Stunden ein kleisterartiges Aussehen, durch welches sie sehr leicht ins Auge fallen. Sehr schnell tritt dann auch Braun- bis Schwarzfärbung auf.

In älteren Kolonien bilden sich sehr schnell Involutionsformen, welche riesige Zellen von 10 bis 15 μ darstellen, zuweilen auch den Eindruck von Amöben und Hefezellen machen. Einzelne Zellen zeichnen sich als eine Art Dauerzellen durch eine außerordentliche Resistenz gegen Austrocknen aus. Heinze fand Azotobakter auf sechs bis acht Monate alten, vollständig vertrockneten Gipsblockkulturen noch lebensfähig [1]); Fischer beobachtete zahlreiche lebensfähige Zellen in sechs bis neun Monate alten, ebenfalls völlig ausgetrockneten Kulturen [2]) (vgl. Vogel, l. c.). Ein Abimpfen gänzlich vertrockneter, fünf Monate alter Kulturen habe ich selbst mit Erfolg mehrfach vorgenommen.

Hinsichtlich seiner Ansprüche an die Kohlenstoffernährung ist Azotobacter chroococcum sehr wenig wählerisch, was seine Kultur sehr erleichtert. Diese Bequemlichkeit des Arbeitens ist wohl mit ein Grund gewesen, daß die Arbeiten über diesen Organismus unsere Kenntnis seiner Lebensbedingungen in einer sonst kaum erreichten Weise vervollständigt haben.

Um die störende Buttersäuregärung hintanzuhalten, verwandte Beyerinck mit Vorliebe zur Züchtung Mannit und Propionate.

Mit Erfolg wurde, speziell von Gerlach und Vogel, Traubenzucker, auf welchem namentlich bei Kalkzusatz das Gedeihen ein besonders üppiges ist, angewandt. Ferner können Lävulose, Galactose, Rohrzucker, Maltose, gequollene Stärke, Glycerin und Äthylalkohol als Nährstoffe für Azotobakter dienen. Außerdem sind geeignet: Butyrate, Lactate, Malate, Succinate, Acetate,

---

[1]) Zentralbl. f. Bakt. (II) 12, 43.
[2]) Journ. f. Landw. 3, 61 (1905); Zentralbl. f. Bakt. (II) 14, 33.

Citrate und Pectinstoffe. Nach Heinze (l. c.) ist Azotobakter imstande, Glykogen zu produzieren und dasselbe unter Bildung von Dextrose wieder zu verarbeiten. Es kann diese Fähigkeit für den Organismus dann von Bedeutung sein, wenn im Boden oder in anderen Kulturmedien Mangel an löslichen Kohlehydraten eintritt. „Dann werden diese Mikroben das aufgespeicherte Glykogen selbst zersetzen, indem sie eine Art Selbstgärung erleiden, dabei unter anderem Zucker bilden und so unter Umständen ihre stickstoffassimilierende Tätigkeit immer wieder von neuem entfalten können."

Bemerkenswert ist das Verhalten von Azotobacter chroococcum gegen Mineralstoffe. Unentbehrlich zu seinem Gedeihen ist Kalk, sehr nützlich Kali und Natron, doch können diese durch Kalk vertreten werden (?). Dem Kalk kommt in dextrosehaltigen Lösungen wohl wesentlich die Rolle zu, entstehende Säuren abzustumpfen, die freilich ohnehin gegenüber der entschiedenen Fähigkeit des Organismus zur Alkalibildung nicht viel ins Gewicht fallen.

Für geringe Stickstoffmengen ist der Organismus, namentlich in Reinkulturen, dankbar. In Rohkulturen dürfen diese Mengen allerdings nur ganz verschwindend klein sein, da er sonst leicht den meso- und polynitrophilen Bakterien unterliegt, deren er bei fast völliger oder völliger Stickstofffreiheit des Nährbodens sehr schnell Herr wird.

Vergesellschaftet ist Azotobakter in der Natur mit einer ganzen Reihe von Bakterien, von welchen einzelne sehr schwer aus den Kulturen zu entfernen sind. Dieser Umstand hat wohl Beyerinck und van Delden auch veranlaßt, der Annahme Ausdruck zu geben, daß Azotobacter chroococcum nur in Symbiose mit Granulobakter, Aerobacter aerogene oder Bacillus radiobacter die Fähigkeit der Stickstoffsammlung besitzt, die ihm in Reinkultur abgehe. Diese Ansicht ist später durch die verschiedensten Autoren: Vogel, Gerlach, v. Freudenreich u. a. als unrichtig erkannt worden und sei daher hier nur kurz erwähnt, ohne des weiteren darauf einzugehen.

Azotobacter agilis, die zweite von Beyerinck selbst beschriebene Spezies wurde im Delfter Kanalwasser gefunden und in gleicher Weise in Roh- und Reinkultur erhalten. Das Hauptunterscheidungsmerkmal ist durch die schon im Namen aus-

gedrückte große Beweglichkeit mittels eines Bündels polarer Zellen gegeben (vgl. Fig. 4, Abb. 3). Die Organismen sind oft fast durchsichtig und zeigen viele Einzelheiten ihrer Struktur: Zellwandung, Plasma, Zellkern, Granula und Vakuolen. Die Art wächst auf den verschiedensten Nährböden, wie ihr Gattungsverwandter, besonders gut auf Leitungswasser mit 2 Proz. Glukose und 0,02 Proz. K_2HPO_4. Mit organisch-sauren Salzen kann Azotobacter agilis einen grünen oder roten Farbstoff erzeugen, welcher weithin diffundiert. Von anderen Forschern ist die Art noch wenig berücksichtigt worden.

Als weitere Unterspezies wollen Fischer[1] und andere Autoren Azotobacter vinelandi in Sarcinaform und Azotobacter beyerinckii in Kettengestalt unterschieden wissen, und ist anzunehmen, daß morphologische Spezialforschung noch weitere Unterspezies kennen lehren wird.

Einen Mikroorganismus, welcher nicht eigentlich zur Azotobaktergruppe gehört, da er bei gänzlichem Ausschluß des Ammoniaks aus der Luft sehr schnell die Fähigkeit der Stickstoffbindung verliert, hat Guido Volpino auf kieselsaurem Anhydrit, welches mit 0,1 Proz. Kaliphosphat gelatinisiert war, gezüchtet. Er präsentiert sich im hängenden Tropfen als unbewegliche Bazillar- und Coccusbazillenformen, welche in der Längsrichtung vereinigt sind und zuweilen geästete Fäden bilden. Dergleichen fadenförmige Bildungen sind jedoch immer kurz (20 bis 50 μ). Sporenähnliche Bildungen wurden nicht beobachtet. Ein besonderes Interesse verdient dieser Organismus noch deshalb, weil er allem Anschein nach die Fähigkeit hat, auch seinen Kohlenstoffbedarf der umgebenden Luft zu entnehmen. Kontrolluntersuchungen anderer Forscher sind noch nicht bekannt geworden.

Man kann mit Recht die Azotobakterarten als echte Kosmopoliten bezeichnen, da sie fast allgegenwärtig zu sein scheinen. Ausgenommen in Böden von ausgesprochen saurer Reaktion, wie in rohen Moorböden, sind Angehörige der Gattung, und zwar allem Anschein nach Azotobacter chroococcum selbst, überall gefunden worden[2]. Winogradsky scheint ihn schon 1893 in Böden aus Paris, Petersburg und Südrußland vor sich gehabt zu

[1]) Verh. d. Naturw. Ver. d. Rheinl. 22, 135 (1905/06).
[2]) Vgl. Vogel, l. c.

haben, ohne ihm jedoch Bedeutung beizulegen, und die oben erwähnten, von Krüger (s. oben) gefundenen stickstoffbindenden Bakterien des Hallenser Versuchsfeldes sind von Beyerinck als Azotobakter erkannt worden. Koch[1]) fand ihn im Dünensande der Nordseeinsel Juist, in Hannover und Braunschweig und bis 80 cm Tiefe in den Böden seines Gothaer Versuchsfeldes. Chester[2]) wies eine Spezies im Boden von Delaware nach, v. Freudenreich[3]) in Erde und Straßenstaub in Bern und Erde von Dijon bis zu 50 cm Tiefe. Heinze (l. c.) konstatierte ihn im Lauchstädter Versuchsfelde „besonders reichlich in Bracheparzellen, in Schmutzwässern, in Acker-, Wiesen- und Waldböden aus der Nähe von Halle, in Bodenproben aus Tirol und Oberitalien, in indischer Schwarzerde aus dem Himalajagebiet, in Schwarzerde der nord- und südtiroler Kalkalpen, des Wettersteingebirges usw.“.

Im Meerwasser fanden ihn Benecke und Keutner, und zwar im Plankton und Schlick an den verschiedensten Stellen der Nord- und Ostsee, im Plankton von Süßwasserbecken Europas, im Indischen Ozean sowohl an der afrikanischen Küste als im Malaiischen Archipel.

Im Meere fand sich Azotobakter selten frei, meistens an Algen oder sonstigen Planktonorganismen ansitzend, wo er weit bessere Lebensbedingungen findet. Ein gleiches gilt für das Süßwasser, und beobachtete Reinke[4]) den Organismus als ständigen Begleiter von Volvox globator in einer ganz besonders üppigen Entwickelung, so daß sich an einer einzigen Kugel dieser Alge ein Stickstoffgewinn von 11,6 mg ergab. Es ist zu erwarten, daß man die Azotobakterarten auch als Pioniere auf Neuland, wie frisch dem Meere durch vulkanische Prozesse entstiegenen Inseln usw. noch kennen lernen wird[5]).

---

[1]) Vortrag in der Versammlung der Naturforscher und Ärzte 1902 und Vortrag der Gesellschaft Sachsen 1903.

[2]) Zentralbl. f. Bakt. (II) **10**, 382 (1903).

[3]) Ebenda **10**, 514.

[4]) Ber. bot. Ges. **21**, 481.

[5]) Zu denken wäre vielleicht hier an das allerdings auch auf Fleischgelatine wachsende de Kruyffsche Bacterium krakatoui, welches über eine beträchtliche N-bindende Kraft verfügen soll (2 bis 6 mg N pro Gramm verbrauchten Zucker). In neuerer Zeit hat übrigens Löhnis bei zahlreichen neuen und auch bei als gefährliche Krankheitserreger bekannten Organismen, z. B. Bacterium pneumoniae,

4. Stickstoffbindung auf künstlichen Nährböden.

Die Methoden der bakteriologischen Forschung basieren sämtlich auf der Anwendung künstlicher Nährböden und speziell die Gewinnung eines Organismus in Reinkultur, welche zu einer genauen Beobachtung und zur Charakterisierung seiner Eigenschaften unumgänglich ist, ist ohne Anwendung künstlicher Nährböden nicht denkbar. Von der Zusammensetzung der Nährlösungen, zu deren Verfestigung zu Zwecken der Reinkultur bei N-sammelnden Bodenbakterien vornehmlich Agar, welches so gut wie N-frei aus Meeresalgen gewonnen wird, dient, ist bereits oben verschiedentlich besprochen worden, so daß ein Hinweis auf das Gesagte jetzt genügt. Ein Impfen der verschiedenen Nährböden, mögen sie fester oder flüssiger Natur sein, erfolgt durch Zusatz geringer Mengen Erde oder aber eines unter verschiedenen Kautelen gegen Außeninfektion hergestellten Erdauszuges, wodurch eine Anzahl Keime in die Nährflüssigkeit gelangen und hier zur Entwickelung kommen.

Es kann gar keinem Zweifel unterliegen, wird vielmehr durch jede Untersuchung auf diesem Gebiete neu bestätigt, daß nur eine ganz bestimmte Anzahl von Arten der im Erdboden lebenden Bakterien sich auf unseren künstlichen Nährböden entwickeln. Es findet in der Bakterienflora des Bodens durch seine Überimpfung auf das künstliche Substrat, mag dieses nun flüssig oder fest sein, eine Auslese statt. Nur diejenigen Organismen, welche zufällig in ihren Ernährungsansprüchen durch den gebotenen Nährboden befriedigt werden, vermögen üppig zu gedeihen.

In Mischkulturen, die stets der Ausgang für spätere Reinkultur sein müssen, werden sie auf Grund eben dieser einen Eigenschaft, weniger wählerisch in ihren Lebensbedürfnissen zu sein, zunächst diejenigen Mikroorganismen unterdrücken, welche sich zwar anzupassen vermögen, aber nur langsam unter den ihnen nicht zusagenden Verhältnissen sich entwickeln, sodann auch diejenigen, welche an sich in der Nährlösung die Bedingungen ihres Gedeihens finden würden, aber eine durch die Organismen

---

die Fähigkeit zur Assimilierung von N nachgewiesen, wodurch die Beyerincksche Annahme von der weiten Verbreitung dieser Eigenschaft eine glänzende Bestätigung zu erfahren scheint. Es bleibt abzuwarten, wie weit die interessanten Resultate von Löhnis der kritischen Nachprüfung standhalten.

der ersten Arten gemachte Konkurrenz aus irgend einem Grunde, vielleicht weil Stoffwechselprodukte der ersten Art ihrer Entwickelung hinderlich sind, nicht zu ertragen vermögen. Ganz in den Hintergrund gedrängt werden für alle Fälle diejenigen Organismen, deren Ernährungsansprüche von der ja nur auf Empirie sich stützenden Nährlösung in keiner Weise befriedigt werden und die daher von vornherein durch Nichtwachsen sich jeder Auffindung entziehen.

Aber auch der entgegengesetzte Fall ist denkbar. Es ist keineswegs als ausgeschlossen zu bezeichnen, daß das Wachstum einer Art auf künstlichem Nährsubstrat dieses so verändert, daß dadurch eine andere Art, die in der Natur weit in den Hintergrund gedrängt wird, zu einer ganz ungeahnten Entwickelung gelangt und so eine Bedeutung vortäuscht, die ihr von Natur absolut nicht zukommt. Ja, daß sich in einzelnen Fällen das Bild einer förmlichen Symbiose, einer obligatorischen Lebensgemeinschaft bietet, ohne in der Natur zu bestehen.

Ein Beispiel dieser letzteren Möglichkeit scheint mir Beyerinck und van Delden untergelaufen zu sein, als sie ihrem Azotobakter chroococcum nur in Symbiose mit Radiobakter und anderen Bakterien die Fähigkeit der N-Assimilation zuschreiben wollten. Es stand dieses im strikten Gegensatz zu den ersten Publikationen Beyerincks, und wurde diese Annahme auch später von den verschiedensten Autoren als unhaltbar erwiesen, worunter in erster Linie Gerlach und Vogel zu nennen sind.

Es kann vielleicht in einzelnen Fällen sogar so weit kommen, daß auf künstlichem Nährboden ein Organismus unter den ihm aufgezwungenen Bedingungen ganz neue, sonst nirgends entwickelte Eigenschaften zeigt, ein Gesichtspunkt, welcher als Dämpfer auf die hochfliegenden Zukunftsträume der Bodenbakteriologie schon verschiedentlich vertreten ist. Wenn wir einen krassen Beleg für seine Richtigkeit noch nicht haben, so liegt das nicht daran, daß ein solcher Beleg vielleicht nicht existiert, es liegt vielmehr daran, daß wir in keinem einzigen Falle eine Kontrolle haben, in welcher Weise die Auslese durch Überimpfung auf künstliche Nährböden unter den Bodenbakterien wirkt.

Die konsequente Anwendung dieser Auslese in der Methode der oben geschilderten elektiven Kultur präzisiert die Fragestellung immerhin schon in etwas, vermag dies aber doch nur in qualitativer Beziehung, niemals dagegen in quantitativer. Um

das zu können, müßte man wissen, von welchen Bedingungen das Gedeihen der einzelnen Bakterienarten sonst noch abhängt, müßte wissen, in welcher Richtung sich bei Verschiebung der einzelnen auch nur chemischen Faktoren die chemische Tätigkeit der Bakterien ändert. Dazu fehlen aber sämtliche Grundlagen, und es erwächst aus dieser Art der Fragestellung eine solche Unzahl der Probleme, daß deren Lösung noch in allerweiteste Ferne gerückt erscheint, selbst von rein chemischer Seite betrachtet.

Denn dazu wäre es nötig, daß man in erster Linie über den Chemismus des Bodens bzw. der Bodenlösung eine gründliche Kenntnis hätte. Über Vermutungen ist aber in dieser Hinsicht die Bodenchemie noch nicht herausgekommen, Vermutungen dazu, die sich auch noch in rein qualitativer Richtung bewegen. Und selbst hier muß der Agrikulturchemiker, wenn er ehrlich sein will, bekennen, daß er im Grunde über die Bindung der einzelnen Nährstoffe im Boden eigentlich noch gar nichts Genaues weiß, daß der Chemismus des Bodens, je intensiver man ihm nachspürt, desto mehr als ein Buch mit sieben Siegeln sich enthüllt, das auf dem bisher beschrittenen Wege der reinen Empirie wohl kaum jemals sich öffnen wird. Nur eine von den elementarsten Grundlagen anfangende Umgestaltung der Forschungsweisen, die in der aufs traurigste vernachlässigten physikalisch-mathematischen Behandlung der Probleme der Bodenchemie die Wurzeln ihrer Kraft sucht, kann überhaupt erst die Grundlage für die Erkenntnis und der darauf sich aufbauenden Kenntnis des Chemismus des Bodens liefern. In den freilich im Kreise der Fachgenossen wohl zurzeit mehr Erstaunen und Abwehr als Beifall findenden Forschungen Mitscherlichs ist der Anfang einer solchen neuen Ära zu begrüßen, obgleich bei diesen Forschungen das eine Bedenken auftauchen muß, ob die chemischen modernen Analysenmethoden, die gerade in dem Gebiete der in Frage stehenden Elemente noch recht große Fehlerquellen in sich bergen, es ermöglichen, der unanfechtbaren Logik der mathematischen Schlüsse zu genügen, ob vor allem die Biologie des Bodens nicht eine einstweilen nur störende, aber große Rolle spielt [1]).

[1]) In neuester Zeit scheint Mitscherlich eine seinen Zwecken entsprechende Verfeinerung der Analysenmethoden gelungen zu sein, die dadurch zu einem brauchbaren Werkzeuge erst geworden sind. Damit ist ein großer Schritt vorwärts getan.

Erst wenn diese Grundlagen gegeben sein werden, erst dann wird es meines Erachtens möglich sein, auf wirklich sicherer Basis an die noch außerordentlich viel komplizierteren Erscheinungen der Bodenbiologie mit künstlichen Nährlösungen heranzugehen, wenigstens von der chemischen Seite, indem man dann wirklich den Bodenverhältnissen in ihrer chemischen Zusammensetzung entsprechende Nährlösungen in Anwendung bringen kann.

Ob die auf solchen Nährlösungen erzielten Resultate auch dann selbst große Bedeutung für Beurteilung der tatsächlichen Verhältnisse haben werden, das ist freilich damit noch keineswegs gesagt, und die Differenzen zwischen natürlichem Standort und künstlichem Nährboden bleiben selbst beim besten Gedeihen der verschiedenen Mikroorganismen auf den letzteren unüberbrückbar bestehen.

Die jedenfalls ständig schwankende Konzentration der Bodenlösungen, den Wechsel zwischen der Wärme des Tages und der Kälte der Nacht, der einen Wechsel zwischen sauerstoffarmer und sauerstoffreicher Luft in den einzelnen Bodenschichten bedingt, bei gleichzeitiger Schwankung des Partialdruckes der Kohlensäure, vermögen die künstlichen Kulturmethoden nicht oder doch nur sehr unvollkommen nachzuahmen. Und noch mehr gilt dies von den täglichen Schwankungen der Intensität des magnet-elektrischen Erdfeldes, dessen Einwirkung auf die Lebenstätigkeit der Mikroorganismen ein noch gänzlich dunkles Gebiet der Bakterienkunde bildet. Dabei ein Gebiet, dessen Bedeutung jede neue Untersuchung über Elektrokultur selbst höherer Gewächse immer deutlicher erkennen läßt.

Es ist vielfach für die Bodenbakteriologie die medizinische Bakteriologie als analog herangezogen worden, und namentlich Laienkreise sind nur zu leicht geneigt, auf Grund der großartigen Erfolge dieser Disziplin auch der Bodenbakteriologie eine schnelle und glanzvolle Entwickelung zu prophezeien. Dieser Schluß entbehrt aller und jeder Berechtigung. Ganz abgesehen davon, daß die medizinische Bakteriologie auf einem durch Jahrhunderte lange Forschung erworbenen elementaren Wissensschatz aufbauen konnte, liegen hier die Verhältnisse auch wesentlich einfacher.

Die Grundlagen des Chemismus der Körpersäfte, um welche es sich hier als natürlichen Standort der Mikroorganismen handelt, sind schon längst festgelegt, vor allem aber fällt hier jeder

Wechsel der Zusammensetzung und Temperatur fort, da ein solcher wirklich tiefgreifender Wechsel, wie er im Boden jeden Tag womöglich verschiedentlich eintritt, einfach das Leben des betreffenden Organismus endgültig zerstört. Die Zahl der Variabeln ist damit eine weit geringere als bei der Bodenbakteriologie und das Arbeiten in weitgehender Weise erleichtert. Zudem sind die Symptome der meisten Infektionskrankheiten Reaktionen, die sich ohne weiteres an jedem neuen natürlichen Standort des Erregers, d. h. einem Versuchstier, nachprüfen lassen.

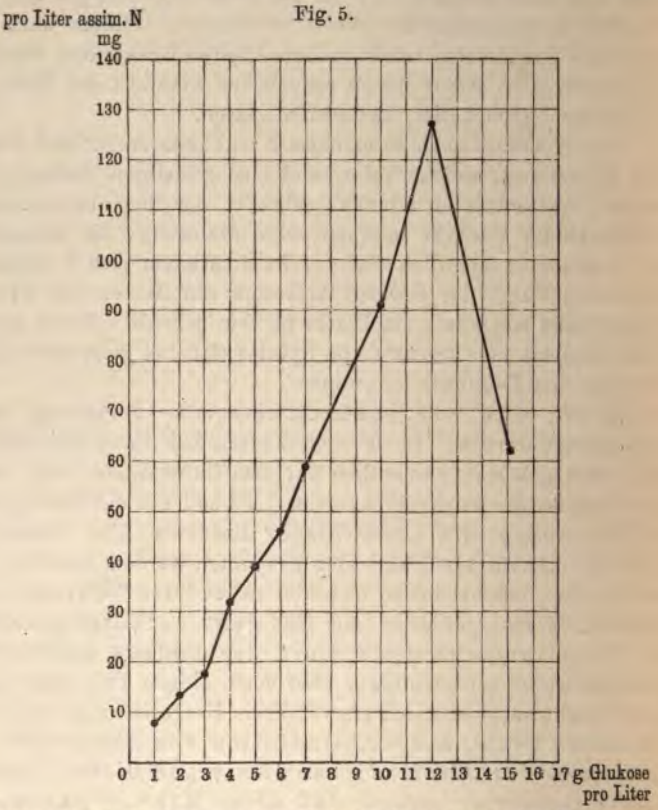
Daß trotzdem noch so mancher Krankheitserreger sich bisher einer Forschung, welche unter relativ so günstigen Bedingungen arbeitet, hat entziehen können, sollte in der Bodenbakteriologie zu vermehrter Vorsicht mahnen, eine Mahnung, die gegenüber der in vielen, namentlich neueren Publikationen sich bemerkbar machenden Sucht der Speziesfabrikation auf Kosten der Gründlichkeit ganz besonders am Platze zu sein scheint. Es ist nichts Neues, daß als neu beschriebene Spezies sich bei genauerem Hinsehen als alte Bekannte entpuppen.

Es soll damit die bodenbakteriologische Forschung nicht herabgesetzt werden. In der sehr kurzen Zeit ihrer Existenz ist sehr vieles geleistet, namentlich auf dem interessanten und wichtigen Gebiete der Stickstoffbakterien. Es soll nur ein Standpunkt für Betrachtung der nachstehenden Resultate über Stickstoffgewinn in künstlichen Nährböden gewonnen werden, nämlich der, daß die oben beschriebenen und hier neben ihren Wirkungen aufgeführten Mikroorganismen nur eine ganz zufällige Auslese aus der Mikroorganismenflora des Bodens darstellen, gefunden durch scharfsinnige, aber nach obigen Prinzipien noch immer nicht mathematisch einwandfreie Fragestellung, und daß die dabei beobachtete Assimilation von Stickstoff für natürliche Verhältnisse quantitativ gar nichts, qualitativ nur so viel besagt, daß diese Mikroorganismen möglicherweise auch unter natürlichen Bedingungen zur N-Assimilation befähigt sind, diese Fähigkeit aber keineswegs wirklich auszuüben brauchen.

Deswegen haben viele bestimmte Zahlenangaben für den vorliegenden Zweck keinen Wert. Es genügt die Feststellung, daß Azotobacter chroococcum sich bisher als der weitaus wirkungsvollste Stickstoffsammler gezeigt hat. Während Clostridiumformen

pro Gramm verbrauchten Zucker selten über 3, allerhöchstens 14 mg N zu binden imstande waren, ergab Azotobakter z. B. im Durchschnitt der sehr exakten Versuche von Gerlach u. Vogel Stickstoffgewinne von 8,9 mg N pro Gramm verbrauchten Zucker.

Fig. 5.



Stickstoffassimilation von Azotobakter chroococcum im Zusammenhange mit der Zuckerkonzentration der Nährlösung.

Gerlach und Vogel stellten auch fest, daß zwischen der Konzentration der Azotobakter zur Verfügung stehenden Glukoselösung und der Stickstoffassimilation ein gewisser Zusammenhang bestand, welchen Fig. 5, die nach den Zahlen des genannten Forschers gezeichnet ist, veranschaulicht.

Die Assimilation steigt mit steigender Zuckerkonzentration, allerdings nicht ihr proportional, sondern in einer Kurve, deren Identität erst durch mehrere Kontrollversuche noch festzulegen wäre, ehe sich die Aufsuchung ihrer Gleichung verlohnt, bis zum Optimum bei 12 g Glukose, um dann schroff abzufallen und jedenfalls bei der für Azotobakter als Zelle letalen Konzentration der Nährlösung mit Eintritt maximaler Plasmolyse den Nullpunkt zu erreichen. Ich wähle mit voller Absicht den Ausdruck jedenfalls, gleichbedeutend mit vielleicht.

Man kennt den chemischen Vorgang der Stickstoffbindung durch die Bakterien noch nicht, und sind die Ansichten darüber noch sehr geteilt. Einzelne Autoren nehmen eine Anlagerung des Stickstoffs an Kohlenstoffverbindungen an, wie Gerlach und Vogel, dagegen lassen Reinke und seine Anhänger N mit H zusammentreten, während Bredig, Gautier und Drouin Oxydationsvorgänge für wahrscheinlicher halten. Nachdem die mystische „Lebenstätigkeit“ mit den glänzenden Fortschritten der Enzymforschung endlich mehr und mehr Kredit verliert, darf man wohl mit Hiltner und Loew annehmen, daß auch bei der Bindung des Stickstoffs durch Bakterien Enzyme eine Rolle spielen. Es würde unter dieser Voraussetzung die Assimilation von Stickstoff, wenn auch in sehr engen Grenzen, sowohl ohne Zucker als Energielieferant der Bakterien als nach dem Tode der Organismen stattfinden können. Ein abschließendes Urteil hierüber, oder auch nur über die Rolle des Zuckers bei der Assimilation, läßt sich zurzeit nicht fällen [1]).

V. Die Stickstoffbindung durch frei lebende Bakterien im Boden.

Die oben behandelten Methoden zur Züchtung bestimmter Gruppen von Bodenorganismen haben den Nachweis, daß diese Organismen in den verschiedensten Bodenarten vorhanden sind, verhältnismäßig leicht gemacht. Mit Ausnahme von sauren Böden, welche die Vorbedingungen für eine Flora von Fadenpilzen und

---

[1]) Hinsichtlich Einzelheiten über N-Bindung auf künstlichen Nährböden sei auf die Sammelreferate von Vogel, Löhnis u. a. m. im „Zentralbl. f. Bakteriol.“, II. Abt. in den Jahrg. 1900—1907 verwiesen.

ähnlichen säureliebenden Organismen, nicht aber für die durchweg gegen Säure recht empfindlichen Stickstoffbakterien bieten, hat man, wie oben ebenfalls schon betont ist, fast jedesmal, wenn man danach suchte, irgend welche Vertreter der bisher bekannten Stickstoffbinder gefunden. Da wir erst im Anfang unserer Kenntnis dieser Organismen stehen, ist wohl der Schluß berechtigt, daß, wenn schon diese wenigen bekannten Formen immer wieder auftauchen, die jedenfalls viel größere Zahl der noch unbekannten nicht weniger vertreten sein wird, und daß schlechthin stickstoffbindende Bakterien in allen Böden vorkommen werden.

So leicht nun der Nachweis der Anwesenheit ist, so außerordentlich schwierig ist es, irgend etwas über ihre Wirksamkeit unter natürlichen Verhältnissen in Erfahrung zu bringen.

Der einfachste Weg schien hier der zu sein, daß man versuchte, die Zahl der Organismen im Boden festzustellen, von der Annahme ausgehend, daß große Mengen dieser Wesen auch hohe Wirkungen entfalten werden, und daß ein Vergleich verschiedener Böden auf diese Weise sich ermöglichen lassen müßte. Das übliche Verfahren zur Feststellung der Zahl der Bakterien besteht bekanntlich darin, daß Nährböden von entsprechender Zusammensetzung mit bestimmten Mengen Boden geimpft werden und die Zahl der sich entwickelnden Keime gezählt wird. Dies Verfahren hat bei den stickstoffbindenden Bakterien von vornherein völlig versagt. Daß sie auf dem üblichen Gelatinenährboden nicht wachsen, ist oben bereits betont. Es enthalten diese Böden gebundenen Stickstoff, der andere Formen so rasch sich entwickeln läßt, daß die, wenn überhaupt, dann nur sehr spärlich wachsenden stickstoffbindenden Bakterien ganz verschwinden mußten. Und bei speziell zusammengesetzten Nährböden machten sich bei direkter Impfung ebenfalls andere Organismenformen viel schneller breit. Es ist dies alte Verfahren dementsprechend kaum jemals ernstlich in Anwendung gekommen, da man sich über seine Aussichtslosigkeit von vornherein klar war.

Mehr Erfolg versprach das von Hiltner und Störmer ausgebildete Verfahren, die Bakterien nicht auf festen Nährböden, sondern in spezifisch zusammengesetzten Nährlösungen zu züchten, indem in stetig weitergehendem Grade weniger Impfmaterial zur Verwendung gelangt, bis schließlich die Infektion ausbleibt. Die vorhergehende Verdünnung, welche noch eine Infektion ergab,

muß dann mindestens einen Keim der betreffenden Art enthalten haben. Es ist klar, daß es sich hier keineswegs mehr darum handelt, einer einzelnen Bakterienform nachzuforschen, sondern daß hier die Feststellung einer Gruppenreaktion versucht wird. Die charakteristische Gruppenreaktion der stickstoffbindenden Bakterien ist die Fähigkeit, auf stickstofffreien Nährböden, z. B. Mannitlösung, zu wachsen und dabei Stickstoff zu assimilieren. So waren z. B. in 1 g frischer Erde mit 20,5 bis 11,9 Proz. Wassergehalt im Januar 25, im Juli 750 stickstoffsammelnde Bakterien durch Löhnis[1]) nachweisbar.

In dem mit 10 Proz. den gleichen Proben entstammender Erde versetzten Gefäß wurden pro 100 ccm an Stickstoff im Laufe von vier Wochen assimiliert: im Januar 6,58 mg, im Juli 5,32 mg, d. h. mit anderen Worten, es hat sich die Zahl der Organismen, welche nach dem oben angegebenen Verfahren gefunden wurden, für ihre Wirkung im Boden als völlig gleichgültig erwiesen, indem die geringere Zahl sogar eine weit größere Tätigkeit entfaltet hat! „Die Frage nach dem Werte der bloßen Zählung der vorhandenen Bakterien des Bodens glaube ich hiermit als erledigt ansehen zu dürfen“, schreibt Löhnis, und man kann ihm hierin nur beipflichten.

Lediglich auf die Feststellung der Intensität von Gruppenreaktionen läuft die zuerst von Remy vorgeschlagene Methode hinaus, einzig die Intensität der einzelnen Vorgänge, welche Bakterien in geeigneten Lösungen veranlassen können, zu berücksichtigen. Er impft mit Erde von verschiedenen Böden in stetig gleichbleibender Menge, und es wird in der Tat auf diese Weise ein Überblick über die Fähigkeit der verschiedenen Bodenfloren — denn um irgend welche einzelnen Organismenarten handelt es sich hier natürlich noch viel weniger als bisher — in befriedigender Weise erhalten. Mit einer Zählung der Individuen hat dieses Verfahren natürlich nichts mehr zu tun, denn es ist klar, daß wenige höchst virulente Organismen unter Umständen eine weit höhere chemische Wirkung entfalten können als die vielfache Zahl einflußloser.

Es wird auf letztere Weise auch eine große Fehlerquelle vermieden, welche den obigen Verfahren stets anhaftete und wohl,

---

[1]) Zentralbl. f. Bakteriol. 1905, S. 6.

in der Bodenbakteriologie mehr und mehr auf die große Bedeutung des Humus hin. Hat man in den letzten Jahrzehnten seine physikalische und chemische Wirkung wieder mehr schätzen gelernt, pries ihn erst vor kurzem wieder F. Arndt als den unentbehrlichen Vermittler im Boden für eine „richtige Verdaulichkeit“ der künstlichen Nährstoffe, als den Ausgleicher aller Extreme im Boden, Hitze und Kälte, Nässe und Trockenheit, so gesellt sich zu dieser Würdigung nunmehr durch die Bodenbakteriologie die Erkenntnis, daß der Humus den meisten Bodenorganismen erst die Entwickelungsmöglichkeit bietet, daß er in seinem Kohlenstoffvorrat den Organismen die nötige Energie liefert, die vielen Prozesse einzuleiten und durchzuführen, die wir kennen gelernt haben.“

Die Tatsache, daß die Anwesenheit von leicht aufnehmbaren Kohlenstoffverbindungen im Boden eine Conditio sine qua non für das Gedeihen der stickstoffsammelnden Bakterien, speziell der Azotobaktergruppe bildet, vermag auch ein Licht auf eine oft beobachtete und auch sehr oft falsch gedeutete Erscheinung zu werfen: die Vergesellschaftung dieser Organismen mit niederen grünen Algen. Viele Autoren haben bei lebhafter Algenvegetation auf besonntem Boden Stickstoffgewinne konstatiert und wollten die Algen dafür verantwortlich machen, die in Reinkultur noch in keinem einzigen sicher nachgewiesenen Falle Stickstoff gebunden haben. Es scheint nach allem vorliegenden Material die Sachlage so zu sein, daß die Algen durch Ausnutzung des Sonnenlichtes reichlich Kohlenhydrate produzieren, von welchen die neben ihnen gedeihenden Azotobakterarten Nutzen ziehen, die ihrerseits vielleicht den Algen Stickstoffnahrung liefern. Einen direkten Beweis kann man für diese Ansicht darin erblicken, daß bei Topfversuchen — es sei nur auf die schönen Untersuchungen von Wilfarth und Wimmer[1]) hingewiesen —, die Stickstoffgewinne sich stets in besonders hohem Grade in den gleichzeitig reiche Algen- und Azotobaktervegetation aufweisenden, der Sonne ausgesetzten oberen Schichten zeigten, während sie in den nicht mehr den Sonnenstrahlen zugänglichen Schichten des Bodens weit geringer waren. Nässe und Trockenheit erwiesen sich insofern als von Belang, als beide in extremem Grade selbstverständlich

[1]) Landw. Versuchsstationen I und II, 67, 27.

Neben einem gewissen Phosphatgehalt des Bodens ist vor allem ein hoher Kalkgehalt erforderlich, damit Azotobakter voll seine Lebenstätigkeit entfalten kann. Es geht diese Gebundenheit an den Kalkgehalt nach Fischer sogar so weit, daß sein Vorkommen auf Versuchsfeldern direkt mit der Kalkdüngung abschneidet, wenigstens auf von Natur kalkarmem Boden.

Es hat dieses Verhalten wohl einen zweifachen Grund. In erster Linie ist Kalk ein unentbehrlicher Nährstoff des Azotobakter, wie jedes anderen pflanzlichen Organismus, in zweiter Linie aber schließt der Kalk bekanntlich den Humus des Bodens auf zu einfacher konstituierten Kohlenstoffverbindungen. Diese aber sind es, welche unser Mikroorganismus in allererster Linie braucht, um nicht nur Stickstoff zu assimilieren, sondern überhaupt gedeihen zu können, da er nicht imstande ist, selbst die Synthese der Kohlenhydrate in seinem Organismus vorzunehmen. Daß übrigens auch Humusstoffe durch Azotobakter in gewissem Grade ausgenutzt werden, ist experimentell bewiesen [1]).

Wo also Humussubstanzen, die jedoch nicht Säurecharakter tragen dürfen, reichlich im Boden neben Kalk vorhanden sind, da ist ein besonderes üppiges Gedeihen der stickstoffsammelnden Bakterien zu erwarten, eine theoretische Forderung, die durch das Verhalten der Wiesenflora auf moorigem Gelände, welche kaum jemals einer Stickstoffdüngung bedarf, aufs beste erfüllt zu werden scheint, ein Zusammenhang, auf welchen Stutzer zuerst aufmerksam gemacht hat [2]). Remy hat berechnet, daß bei einem im Mittel 2 Proz. Humus enthaltenden Boden den Azotobakterarten etwa 6000 kg organische Substanz pro Hektar zugänglich sein werden, daß sie demnach beim Verbrauch dieses Nährstoffkapitals etwa 48 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr sammeln können, wenn man nach den Ergebnissen von Laboratoriumsversuchen annimmt, daß bei der Bindung von acht Teilen Stickstoff 1000 Teile organische Substanz verbraucht werden [3]).

Hiltner [4]), welchem die Bodenbakteriologie viele grundlegende Arbeiten verdankt, äußert sich über die Bedeutung des Humus folgendermaßen: „Auf alle Fälle weisen alle Fortschritte

---

[1]) Heinze, Zentralbl. f. Bakteriol. II, **12**, 43, 1904.
[2]) Deutsche landw. Presse 1904, Nr. 10 bis 14.
[3]) Vgl. Vogel, l. c.
[4]) Arbeiten D. Landw. Ges. **98**, 59.

Pfeifferschen Darlegungen können nur als eine subjektive, vornehmlich vom Standpunkte des Agrikulturchemikers aus gefaßte Meinung gelten. Sie sind nicht imstande, die zahlreichen Erfahrungen der Praxis und Beobachtungen der Agrikulturbakteriologie, welche auf eine in den Kulturböden beständig vor sich gehende, durch frei lebende Mikroorganismen bewirkte Stickstoffbindung hinweisen und nur durch eine solche zu erklären sind, zu entwerten [1])."

Ihre Widerlegung hat auch bereits die von Bonnema ausgesprochene und von Warmboldt in neuester Zeit in etwas anderer Form vertretene Ansicht gefunden, daß es sich bei der Stickstoffassimilation im Ackerboden um eine rein chemische Erscheinung handelt, welche als eine Oxydation von freiem Stickstoff zu salpetriger Säure mittels Eisenhydroxyd zu deuten sei. Es braucht zur Widerlegung dieser Anschauungen nur hingewiesen zu werden, welche riesigen Energiemengen zur Stickstoffbindung gehören, um sie als unhaltbar hinzustellen.

An der Tatsache der Stickstoffassimilation durch Bakterien im Boden ist nach allen vorliegenden Daten nicht mehr zu zweifeln, wenigstens in qualitativer Beziehung. Wesentlich trauriger steht es freilich um unsere Kenntnis, wenn wir die quantitative Seite des Problems in Rechnung ziehen.

Die Bodenanalyse läßt, wie schon oben, so auch hier im Stiche. Wohl handelt es sich für größere Flächen wie 1 ha um Stickstoffmengen, welche sich der Analyse nicht entziehen können. Auf die nach dem Stande der Analysentechnik erforderlichen und höchstens anwendbaren Substanzmengen übertragen, genügen aber diese Mengen nicht, um nachweisbar zu sein, da sie immer noch in den Bereich der Fehlergrenzen fallen. Hinzu kommt, daß man unter natürlichen Verhältnissen nie genau weiß, welchen Teil des etwa mehr gefundenen Stickstoffs man auf Rechnung der Bakterientätigkeit setzen darf, und welcher etwa durch Absorption von Ammoniak und Niederschläge in den Boden gelangt ist.

Bei Topfversuchen, also bei Verwendung wenigstens natürlichen Bodens, wenngleich die sonstige Annäherung an die Natur ebenfalls noch alles zu wünschen übrig läßt, fanden Wilfarth

---

[1]) Vogel, l. c.

und Wimmer[1]), um nur ein Beispiel zu zitieren, auf 1 ha berechnet 2 bis 2,5 kg Stickstoff. Die Autoren betonen ausdrücklich, daß dieses Resultat, das nicht besonders hoch erscheint, eben nur für diese Topfversuche gilt und nicht ohne weiteres auf die Praxis zu übertragen ist.

Für praktische Verhältnisse existiert ein einwandfreies Zahlenmaterial überhaupt noch nicht, sondern man ist auf theoretische Schätzungen angewiesen. In welchen Zahlengrenzen sich die auf diese Weise, namentlich unter Berücksichtigung des Humusgehaltes des Bodens ermittelten Werte bewegen, ist oben des näheren erläutert. Die Autoren sind sich, von den bereits genannten Ausnahmen abgesehen, wenn nicht über bestimmte Zahlen, wofür natürlich ein hinreichender Grund nicht vorliegt, so doch darüber einig, daß die Stickstoffassimilation durch niedere Organismen unter natürlichen Bedingungen einen Faktor bildet, mit welchem der Landwirt zu rechnen hat.

In wie beträchtlichem Grade das geschehen kann, darauf weisen die Verhältnisse hin, wie wir sie heute in der noch von Menschenhand unberührten Natur finden. Ohne Annahme von Stickstoffbindung durch niedere Organismen ist es schlechterdings unmöglich, sich zu erklären, wie seit Jahrtausenden an ein und derselben Stelle die gewaltigen Urwälder der Tropen gedeihen, die Prärien und Savannen Amerikas, Afrikas und Asiens, in welchen, wenn auch nicht durch Aberntung, so doch aber durch Ausschwemmung durch die tropischen Regengüsse die Verluste an Stickstoff sicherlich größer sind, als die ihnen jährlich durch die Niederschläge zugeführten Mengen. Auf die Bedeutung der stickstoffbindenden Bakterien für die Dünenflora und die Stickstoffversorgung der Algen des Meeres und Süßwassers sei ebenfalls hingewiesen. „Und[2]) wie wäre ohne die Annahme einer Nutzbarmachung des Luftstickstoffs überhaupt der Stickstoffgehalt unserer Ackererde zu erklären? Hellriegel sagt in seinen berühmten Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen: Ich wüßte nicht, wie man ohne Zuhilfenahme solcher Ursachen (welche Stickstoffgewinne und -verluste im Boden unabhängig von den darin wachsenden Pflanzen bedingen) die Bil-

---

[1]) Landw. Versuchsstationen I und II, 67, 27.
[2]) Vogel, l. c.

dung der Ackererde überhaupt, welche als Verwitterungsboden aus stickstofflosem Material entsteht, sich allmählich ohne Dazwischentreten der Kultur und menschlicher Nachhilfe mit einer Pflanzendecke bekleidet und einen ansehnlichen Vorrat an Stickstoff anhäuft, erklären sollte. Ich glaube weiter, daß diese Ursachen eine Rolle in dem praktischen Betriebe der Landwirtschaft spielen können, und daß es eine ebenso dringliche, wie dankbare Aufgabe ist, die Wirkung derselben nach allen Richtungen klarzulegen."

Einen ungefähren Anhalt, um welche Stickstoffgewinne es sich in solchen praktischen Verhältnissen handeln kann, haben seinerzeit die Untersuchungen des bereits erwähnten Caron-Ellenbach geliefert, welcher z. B. von einem bestimmten Schlag seines Gutes in der Zeit von 1885 bis 1898 600 kg Stickstoff in den Ernten ausführte, während nur 420 kg (pro Hektar) zugeführt wurden.

Ein weiteres Vorgehen in dieser Richtung freilich, welches schließlich zur Empfehlung der Impfung mit dem bereits besprochenen Alinit führte, mußte nach dem heutigen Stande des Wissens erfolglos bleiben.

Eine Impfung mit irgend einer Art von freilebenden stickstoffbindenden Bakterien kann doch nur dann Wirkung haben, wenn zwei Grundbedingungen dafür erfüllt sind. Erstlich müssen die betreffenden Bodenorganismen in dem zur Impfung vorgesehenen Acker fehlen, und zweitens müssen sie sich kräftig entwickeln können. Da sich bisher Azotobakter als der intensivst wirksame Mikroorganismus dieser Art erwiesen hat, käme vorwiegend dieser zur Impfung in Betracht. Azotobakter aber fehlt so ziemlich in keinem Boden, findet sich, von extremen Verhältnissen abgesehen, vielmehr überall, und zwar in beträchtlicher Anzahl. Wo er aber doch fehlt, da ist seine Abwesenheit wohl kein Zufall, sondern durch die speziellen Bodenverhältnisse, welche seiner Entwickelung ungünstig oder gar direkt schädlich sind, bedingt. Es ist klar, daß die damit gegebene Nichterfüllung der zweiten Bedingung, daß sich die zugeführten Bakterien auch wirklich kräftig entwickeln können, jede Impfung von vorn herein illusorisch macht.

Für den „Alinit" ist infolge der von Caron gegebenen Anregung durch exakte Versuche seine Unwirksamkeit noch direkt erwiesen. Einzelne Fälle, in welchen einmal die Impfung mit

dieser oder jener Bakterienart einen Erfolg gebracht hat, beweisen gar nichts. Es kann vielleicht der sehr seltene Fall eingetreten sein, daß bei sehr günstigen Entwickelungsbedingungen die betreffenden Organismen wirklich einmal dem Boden fehlten, meistens dürfte es aber reiner Zufall sein.

Nach Hiltnerscher Ansicht kann schließlich jede Bakterienart einen Einfluß auf die Pflanzen im Boden bei Impfung ausüben, wenn ihr nur die Bedingungen zur Entwickelung geboten werden; ob dieser Einfluß ein günstiger ist, ist freilich eine andere Frage.

Es besteht unter den Mikroorganismen als Resultante der Verhältnisse des betreffenden Bodens und des gegenseitigen Kampfes um die Nährstoffe sicherlich in jedem Boden ein gewisses Gleichgewicht, das durch eine Impfung, d. h. Zuführung neuer Bewerber um die Nährstoffe, gestört werden muß, wie es auch durch die Einführung chemischer Substanzen, z. B. Schwefelkohlenstoff, gestört wird, welcher in dieser Weise nach den Untersuchungen von Hiltner, Störmer, Moritz und Scherpe einen ganz entschieden günstigen Einfluß auf das Pflanzenwachstum auszuüben vermag. Und doch wird es niemand einfallen, in der direkten Wirkung dieses Stoffes, welche vielmehr eine Giftwirkung ist, diesen günstigen Einfluß zu begründen.

Auf eine Störung des Gleichgewichtes der Mikroorganismenflora im Boden kommen schließlich auch alle Maßregeln hinaus, welche dem praktischen Landwirt zur Verfügung stehen, um einen Einfluß auf diese Bewohner seines Bodens zu gewinnen. Da anzunehmen ist, daß die stickstoffbindenden Bakterien in jedem Boden vorhanden sind, muß es Aufgabe des Praktikers sein, zu seinem eigenen Vorteil ihnen die Lebensbedingungen möglichst günstig zu gestalten. In welcher Weise dies geschehen kann, dafür hat ihm die Theorie die Grundlage geliefert: Gute Durchlüftung des Bodens bei gleichzeitiger Zufuhr kohlenstoffhaltiger Nahrung. Verwiesen sei hier auf die vor kurzem veröffentlichten interessanten Versuche von Herrn Prof. Dr. Koch in Göttingen [1]), welche ergeben, daß sich durch Zusatz von Dextrose, Rohrzucker, löslicher Stärke und wahrscheinlich auch Getreidestroh zu Boden die Tätigkeit der N-bindenden Bakterien so fördern läßt, daß sich die N-Zunahme analytisch feststellen läßt und sich vor allem deutlich

[1]) Journ. f. Landw. 1907, S. 355 ff.

am Stande der Pflanzen in einem solchen Boden zeigt. (Vgl. Tafelfigur 6 nach von Herrn Prof. Dr. Koch gütigst zur Verfügung gestelltem Original.) Für die Praxis freilich dürfte das Verfahren eine Rente noch nicht in Aussicht stellen.

Beide Maßregeln sind, obwohl die Erkenntnis ihrer Bedeutung für die Stickstoffbindung es ist, der Landwirtschaft keineswegs neu. Bodenbearbeitung in intensivster Form als Schwarzbrache, um welche hinsichtlich ihres Wertes für den Stickstoffhaushalt des Bodens, ob Raubbau, ob Stickstoffanreicherung, noch heute der Streit der Meinungen entbrannt ist, sorgt für Durchlüftung, Düngung mit organischem Dünger, wie Stallmist und Kompost, sorgt für kohlenstoffhaltige Nahrung für die Bakterien des Bodens. Die Maßregeln der Praxis sind den Forderungen der Theorie auch hier, wie so oft, lange, um Jahrhunderte, vorausgeeilt. Nur den hohen Wert dieser altbekannten Maßregeln von einem neuen Standpunkte aus zu zeigen, hat die Theorie bisher vermocht und freilich auch dadurch erheblichen Nutzen gebracht.

VI. Stickstoffbindung durch sonstige frei lebende Organismen.

Einen gemeinsamen Ursprung aller Lebewesen vorausgesetzt, wie ihn jedes logische Denken fordert, wäre es eine überraschende und schwer erklärliche Tatsache, wenn eine Gruppe von Organismen sich durch eine für den Chemismus ihres Lebens so wichtige Fähigkeit, wie es die Fähigkeit der Verarbeitung des atmosphärischen Stickstoffs ist, ganz allein auszeichnete, ohne daß nicht wenigstens nahestehende Organismen noch oder schon Spuren dieser Fähigkeit besäßen. So sind denn trotz der offiziellen Lehrmeinung, daß nur den Bakterien das Talent der Stickstoffbindung zuzusprechen sei, ständig die verschiedensten Gruppen des Pflanzenreichs auf ihre Fähigkeit, Stickstoff zu binden, untersucht worden. Es sind die widersprechendsten Resultate gezeitigt, Resultate, die sich teilweise nur so erklären lassen, daß die betreffenden Autoren sich auf irgend eine Weise täuschen ließen, oder nicht alle Fehlermöglichkeiten ausschalteten. Zu einem Abschluß für oder wider haben jedenfalls alle Versuche in dieser Richtung bis heute noch nicht geführt.

Tafelfigur 6



Hafer-Vegetationsversuch 1906.

Boden Dezember 1905 mit 2 Proz. Rohrzucker behandelt.

			Ohne Zucker	Mit Zucker	
Frühjahr 1906	Gesamt-N.		94,9	115,0	mg in 100 g Boden
	Nitrat-N		1,6	4,3	
Herbst 1906	Erntetrockensubstanz		100	218	
	Ernte-N	Körner	100	338	
		Stroh	100	213	

Das Nächstliegende war, die Gruppe der niederen Pilze einer intensiven Musterung zu unterziehen, was um so verlockender erschien, als diese Organismen ohne Schwierigkeit auf künstlichem Nährboden sich züchten lassen. Hoher Kohlenhydratgehalt solcher Nährlösungen, 20 bis 25 Proz., und saure Reaktion durch organische und anorganische freie Säuren, wie Weinsäure und Phosphorsäure, lassen von vornherein eine Infektion mit Bakterien, wenn überhaupt, so nur in sehr engen Grenzen zu.

Unter Anwendung aller dieser Mittel wollen Berthelot, vor allem aber Puriewitsch und in neuester Zeit Saida, bei verschiedenen Schimmelpilzen und Verwandten eine, wenn auch geringe Stickstoffassimilation beobachtet haben. Die Größe der Stickstoffassimilation schwankt für Aspergillus niger z. B. auf 25 proz. Zuckerlösung, nach Puriewitsch zwischen 0,0015 und 0,0044 g. Ähnliche Werte wurden auch für Penicillium glaucum ermittelt, das nebst Alternaria tenuis, Mucor stolonifer, Endococcus purpurascens und Phoma betae, welch letzteres öfters sogar 10,5 mg Stickstoff pro 50 cm Lösung assimilierte, verschiedentlich Gegenstand der Untersuchung war. Andere Forscher, Winogradsky, Koch, Vogel fanden ihrerseits diese Fähigkeit der erwähnten Organismen nicht, oder wiesen doch nur in Spuren ein Plus an Stickstoff nach, so daß die Resultate in die Fehlergrenze fielen.

Ein Manko der Untersuchungen ist, daß manche Autoren die Fähigkeit eines Organismus, auf stickstofffreiem Nährboden zu wachsen, ohne weiteres mit der Fähigkeit, Stickstoff zu assimilieren, gleich setzten und die unbedingt erforderlichen Analysen über die etwaige Stickstoffzunahme nicht ausführen zu müssen glaubten. Wie wenig zulässig eine solche Methode ist, und wie geeignet, nur Verwirrung anzurichten, spricht Vogel (l. c.) deutlich aus: „Mithin ist es wahrscheinlich, daß manche Forscher sich durch die Üppigkeit des Wachstums von Schimmelpilzen in stickstoffarmen Nährflüssigkeiten zuweilen zur Annahme einer Stickstoffassimilation haben verleiten lassen. Diese Üppigkeit des Wachstums kann aber keineswegs als Maßstab für die Größe der stickstoffbindenden Energie eines Organismus dienen. Die auf stickstoffarmen Nährsubstraten heranwachsenden Kulturen können unter Umständen einen außerordentlich geringen Stickstoffgehalt aufweisen, welcher zuweilen noch nicht 1 Proz. der

der Forschung auswachsen kann, dessen Überwindung nutzlose Schwierigkeit verursacht.

Wenn den grünen Algen dementsprechend als Stickstoffsammlern keine Bedeutung zukommt, so sind sie insofern um so wesentlicher, als sie in einer, wenn auch lockeren Symbiose mit stickstoffsammelnden Bodenbakterien (s. oben) das Wachstum dieser Organismen durch Lieferung von Kohlenhydrat und damit Arbeitsmaterial zur Erzeugung der zur Stickstoffbindung nötigen Energie, durch kräftige Entwickelung höchst günstig beeinflussen. Es wird demgemäß auf ihre Entwickelung in den Böden Gewicht zu legen sein, was sich um so leichter durchführen läßt, als ihre Lebensansprüche mit denen ihrer Symbionten harmonieren.

Von dem obigen Grundsatze ausgehend, daß es mißlich ist, einer Gruppe von pflanzlichen Organismen Fähigkeiten zuzuschieben, die jeder anderen prinzipiell fehlen sollen, haben Frank, Stoklasa, Liebscher und andere Autoren auch für höhere Gewächse, die Fähigkeit, selbstständig Stickstoff zu sammeln, behauptet, da die Fähigkeit der Stickstoffassimilation eine allgemeine Eigenschaft des pflanzlichen Protoplasmas sei. So berechtigt rein theoretisch diese Forderung ist, ist damit noch keineswegs gesagt, daß es möglich ist, experimentell ihre Richtigkeit zu bestätigen und dahin gehende Versuche der genannten und anderer Autoren, die zu positiven Resultaten führten, sind von vielen Seiten — es seien nur Pfeiffer, Nobbe, Hiltner und Richter genannt — widerlegt und in ihren Versuchsfehlern, die zu dem zitierten Schlusse führten, fast ausnahmslos geklärt. Meistens ist die stickstoffbindende Kraft der Bodenbakterien vergessen in Rechnung zu ziehen.

Von einer ganz neuen Seite hat in allerletzter Zeit Jamieson das Problem der Stickstoffbindung durch höhere Pflanzen aufgegriffen. Er nimmt die Fähigkeit der grünen Algen zur Stickstoffassimilation einfach als gegeben an, und findet in den, Algenzellen ähnlichen, von ihm „Albumen generators“ genannten Haarendzellen, welche Chlorophyll führen und sich durch sehr große Zartheit der Epidermis auszeichnen, die Organe der Stickstoffassimilation der höheren Pflanzen. Diese „Albumen generators“, von welchen unsere Fig. 7 eine Vorstellung gibt, stehen vorwiegend an Blättern, aber auch sonstigen grünen Teilen bei allen untersuchten Pflanzen, allerdings i[illegible] hi[illegible] e

aus rein anorganischen Stoffen ihren Lebensunterhalt zu decken. Auf Neuland müßten die Cyanophyceen unter den uns heute bekannten Organismen demnach die ersten Pioniere der Flora sein, eine theoretische Forderung, zu welcher die Beobachtung von Treub, daß auf den Aschen von Krakatau sich bereits nach drei Jahren eine starke Schicht von Cyanophyceen zeigte (darunter besonders Lingbya verbeckiana und Lingbya minutissima), auf das Beste stimmt.

Durch diese Organismen würde dann ein gewisses Kapital organischer stickstoffhaltender und stickstofffreier Verbindungen angesammelt, das den übrigen allmählich ankommenden Vertretern der Pflanzenwelt eine, wenn auch geringe Möglichkeit des Gedeihens bieten würde. Als Wesen verwandter Art wird man sich nach den heutigen Anschauungen auch die überhaupt ersten pflanzlichen Organismen der Erde vorzustellen haben, mag man nun die „Urzeugung als ein logisches Postulat“ (Hertwig) betrachten, oder den Ursprung des irdischen „Lebens“, damit, meinem Gefühl nach, das Postulat der Urzeugung wohl aufschiebend, aber nicht aufhebend, in keimbeladenen kosmischen Staub des Weltenraums verlegen.

Ob der Fähigkeit der Cyanophyceen, freien Stickstoff zu assimilieren, für den Ackerbau irgend welche Bedeutung zukommt, läßt sich an der Hand des heutigen lückenhaften Materials nicht entscheiden. Da ihre Lebensansprüche mit denen der Bakterien der Azotobaktergruppe durchaus harmonieren — rechnet man doch vereinzelt (s. oben) sogar Azotobakter selbst zu den Cyanophyceen — ist anzunehmen, daß Maßregeln, welche das Wachstum dieser Bakterien günstig beeinflussen, auch den blau-grünen Algen willkommen sein werden, wie sie es den grünen Algen sind.

Trotz mannigfachen Widerspruches darf man nach den exakten Versuchen von Krüger, Schneidewindt und Kossowitsch, welche mit wirklichen Reinkulturen von Stichococcus, Chlorella und Chlorothecium arbeiteten, behaupten, daß den grünen Algen die Fähigkeit der Stickstoffassimilation nur in einem sich der Feststellung entziehenden Grade zukommt. Sie ihnen ganz abzusprechen, halte ich aus dem Grunde für unvorteilhaft, obwohl die Versuche anscheinend zu diesem Schlusse drängen, daß es immer mißlich ist, ohne Not ein Dogma zu errichten, das fest formuliert, sich gar zu leicht zu einem Hindernis nachfolgen-

der Forschung auswachsen kann, dessen Überwindung nutzlose Schwierigkeit verursacht.

Wenn den grünen Algen dementsprechend als Stickstoffsammlern keine Bedeutung zukommt, so sind sie insofern um so wesentlicher, als sie in einer, wenn auch lockeren Symbiose mit stickstoffsammelnden Bodenbakterien (s. oben) das Wachstum dieser Organismen durch Lieferung von Kohlenhydrat und damit Arbeitsmaterial zur Erzeugung der zur Stickstoffbindung nötigen Energie, durch kräftige Entwickelung höchst günstig beeinflussen. Es wird demgemäß auf ihre Entwickelung in den Böden Gewicht zu legen sein, was sich um so leichter durchführen läßt, als ihre Lebensansprüche mit denen ihrer Symbionten harmonieren.

Von dem obigen Grundsatze ausgehend, daß es mißlich ist, einer Gruppe von pflanzlichen Organismen Fähigkeiten zuzuschieben, die jeder anderen prinzipiell fehlen sollen, haben Frank, Stoklasa, Liebscher und andere Autoren auch für höhere Gewächse, die Fähigkeit, selbstständig Stickstoff zu sammeln, behauptet, da die Fähigkeit der Stickstoffassimilation eine allgemeine Eigenschaft des pflanzlichen Protoplasmas sei. So berechtigt rein theoretisch diese Forderung ist, ist damit noch keineswegs gesagt, daß es möglich ist, experimentell ihre Richtigkeit zu bestätigen und dahin gehende Versuche der genannten und anderer Autoren, die zu positiven Resultaten führten, sind von vielen Seiten — es seien nur Pfeiffer, Nobbe, Hiltner und Richter genannt — widerlegt und in ihren Versuchsfehlern, die zu dem zitierten Schlusse führten, fast ausnahmslos geklärt. Meistens ist die stickstoffbindende Kraft der Bodenbakterien vergessen in Rechnung zu ziehen.

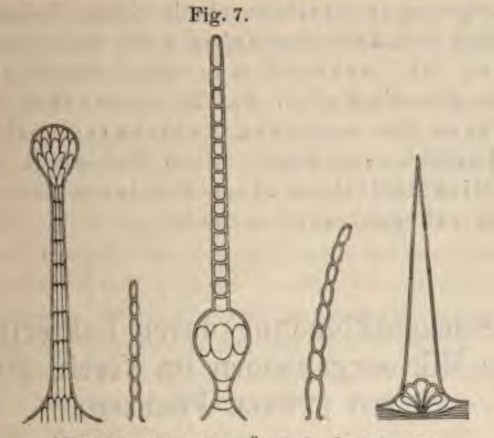
Von einer ganz neuen Seite hat in allerletzter Zeit Jamieson das Problem der Stickstoffbindung durch höhere Pflanzen aufgegriffen. Er nimmt die Fähigkeit der grünen Algen zur Stickstoffassimilation einfach als gegeben an, und findet in den, Algenzellen ähnlichen, von ihm „Albumen generators“ genannten Haarendzellen, welche Chlorophyll führen und sich durch sehr große Zartheit der Epidermis auszeichnen, die Organe der Stickstoffassimilation der höheren Pflanzen. Diese „Albumen generators“, von welchen unsere Fig. 7 eine Vorstellung gibt, stehen vorwiegend an Blättern, aber auch sonstigen grünen Teilen bei allen untersuchten Pflanzen, allerdings in sehr verschiedener Menge

Die Stickstoffassimilation soll in der grünen Endzelle erfolgen — über das „Wie“ sagt der Autor nichts —, und das gebildete Eiweiß läßt sich nach Jamieson hier und auf dem Wege zur Pflanze durch die üblichen Reaktionen leicht nachweisen.

Die große Schwäche der Arbeit liegt in dem Fehlen jeglicher quantitativer Daten. Von Jamieson angestellte Versuche haben zu keinem Erfolge geführt.

Ein abschließendes Urteil über die Arbeit zu fällen, ehe Nachforschungen vorhanden sind, ist nicht möglich. Die gegebenen Gesichtspunkte sind so neu und ungewöhnlich, daß es wohl zu

Fig. 7.



„Albumen generators“ nach Jamieson.

verstehen ist, wenn die Fachgenossen geneigt sind, über die Angelegenheit zur Tagesordnung überzugehen und den Autor einfach nicht ernst zu nehmen. Es verführt dazu auch der Umstand, daß Jamieson alle seiner Anschauung widersprechenden Arbeiten einfach nicht beachtet oder als nicht beachtenswert abtut. Einer direkten Nachprüfung aber scheinen die Resultate doch immerhin wert zu sein, selbst wenn sie kein weiteres Resultat hätte als die Klärung unserer Anschauungen über die physiologische Anatomie des Pflanzenkörpers. Sollte sich aber bei dieser Nachprüfung auch nur ein Bruchteil des vom Autor Behaupteten bestätigen, so wären damit für die agrikulturchemische Forschung neue und in irgend einer Weise sicher fruchtbare Wege gewiesen.

Aus diesem Grunde mußte auch hier die Anschauung von

Jamieson erwähnt werden, ohne sie natürlich als eine berücksichtigende Hypothese einstweilen hinzustellen.

Vielmehr ist durch sie zurzeit die Anschauung nicht erschüttert, daß den höheren grünen Pflanzen die Fähigkeit, selbständig atmosphärischen Stickstoff zu assimilieren, wenn überhaupt, dann in einem sich heute noch der Auffindung entziehenden Grade zukommt, wie es auch bei den chlorophyllführenden Algen der Fall ist. Kaum irgendwie belangreich ist diese Fähigkeit bei Cyanophyceen und Schimmelpilzen, und nur verschiedene Bakteriengruppen besitzen sie in einer Weise, daß sie für die wild lebenden Gewächse wohl sicher von großer Bedeutung ist, während man über den Wert dieser Fähigkeit für die Kultur der Nutzgewächse unter den Bedingungen des modernen Ackerbaues noch sehr geteilter Ansicht sein kann, diese Fähigkeit jedenfalls für die Stickstoffbilanz eines Betriebes noch kaum in Rechnung gebracht werden darf.

VII. Stickstoffbindung durch Bakterien und sonstige Mikroorganismen im Verein (Symbiose) mit grünen Pflanzen.

1. Grundlagen und Vorarbeiten.

Fast alle großen Entdeckungen und Erfindungen in Wissenschaft und Technik, welche Grundlagen für neues Arbeiten und Forschen geworden sind, haben das gemeinsam, daß sie ihren Ursprung nicht dem reinen Zufall allein, auch nicht allein dem schöpferischen Genie des Einzelnen verdanken, sondern daß sie, wie man so zu sagen pflegt, in der Luft lagen, einfach als Resultanten der Anschauungen und Vorarbeiten des ganzen Zeitalters einerseits und der spezifischen geistigen Tätigkeit des Entdeckers oder Erfinders andererseits kommen mußten.

Der gleiche Vorgang läßt sich auch bei der Entdeckung der Bedeutung der Wurzelknöllchen für die Ernährung der Leguminosen beobachten, und zwar gehen hier die ersten Wurzeln der Erkenntnis bis ins griechisch-römische Altertum zurück.

Schon Theophrast und Plinius wissen, daß verschiedene Leguminosen die Eigentümlichkeit haben, den Boden in einem fruchtbaren Zustande zurückzulassen und raten dem Landwirt, deswegen nach solchen Früchten mit Düngung zu sparen. In der Landwirtschaft des Mittelalters und der neueren Zeit bis zur Einführung der Chemie in die Methoden der landwirtschaftlichen Forschung bildete sich, gestützt auf praktische Erfahrungen, die Unterscheidung zwischen Leguminosen als „bodenbereichernden" Pflanzen einerseits und den Cerealien als „bodenzehrenden" Gewächsen andererseits heraus. „Selbst noch Thaer erklärte die Düngung der kleeartigen Gewächse für eine Verschwendung, es sei denn, daß man ihnen vor Eintritt des Winters durch eine Stallmistgabe Frostschutz gewähren wolle."

Mit dem Ausbau der chemischen Betrachtungsweise der ackerbaulichen Probleme erkannte man dann bald, daß es sich bei den Leguminosen nicht sowohl um die Eigenschaft handelte, allgemein den Boden zu bereichern, als vielmehr darum, ein Plus an Stickstoff in sich selbst und im Boden zu erzielen. Auf dieser Erkenntnis fußend, wurde bald für die Gruppe der Leguminosen der Name „Stickstoffmehrer" geprägt, denen die sämtlichen anderen Kulturpflanzen als „Stickstoffzehrer" gegenüber standen.

Nachdem die einwandfreien Versuche namhafter Forscher, wie Lawes und Gilbert, und die Erfahrungen als Kapazitäten ihres Faches geltender Landwirte, wie Schultz auf Lupitz, welcher nach 15 jährigem Anbau von Lupinen mit alleiniger Mineral-, speziell Kainitdüngung, eine Stickstoffbereicherung seines Bodens unwiderleglich nachwies, gezeigt hatten, daß die allgemein verbreitete Anschauung von der stickstoffbereichernden Kraft der Leguminosen nicht nur eines der zahlreichen Märchen war, an welche jederzeit auf dem Gebiete jeder Wissenschaft von Laien und Fachmännern geglaubt wird, erwuchs für die Wissenschaft die Aufgabe, zu diesen Erscheinungen eine Erklärung zu liefern.

Diese Forderung aber erwies sich als einstweilen nicht erfüllbar. Die geringen Mengen von Stickstoff, welche die atmosphärischen Niederschläge zur Erde beförderten, standen allen Pflanzen in gleicher Weise zu Gebote und schieden dementsprechend, auch schon wegen ihrer Geringfügigkeit, von vornherein aus der Erklärung aus. Auch die Annahme, die Leguminosen mit ihren tiefreichenden Wurzeln vermöchten den Stickstoff des Untergrundes

sich nutzbar zu machen, hielt Analysen der Pflanzen und des Untergrundes gegenüber, welche klar die Unmöglichkeit dieses Vorganges erwiesen, nicht stand. Die oben ausführlich behandelten Versuche Boussingaults hatten andererseits längst einwandfrei erwiesen, daß die grünen Pflanzen nicht fähig wären, den Stickstoff der Luft zu verarbeiten. Jeder exakte Versuch in dieser Richtung führte auch bei den Schmetterlingsblütlern zu demselben negativen Resultat. Der Spalt zwischen den Tatsachen der Praxis und den Erklärungsversuchen der Theorie klaffte breiter und breiter. Das Bedürfnis, diese Kluft zu überbrücken, wurde im beiderseitigen Interesse immer dringender und spornte zu immer eifrigerem Forschen an.

Und die Bausteine zur Errichtung dieser Brücke lagen längst bereit, nur der Meister fehlte, der sie mit genialem Blicke aneinanderfügte.

Schon längst waren die Wurzelknöllchen der Leguminosen bekannt. Schon Malpighi hatte sie im Jahre 1687 genau beschrieben und seit dieser Zeit hatten die Knöllchen wiederholt das Interesse der Forscher wachgehalten, da sie sich schlechterdings nicht deuten ließen. Die Anschauung, daß es sich um krankhafte Gebilde der Leguminosenwurzeln handelte, wurde lange Zeit von vielen Autoren mit Eifer vertreten und sogar der Vorschlag gemacht, die Knöllchen der Lupinen durch Kalkung zu bekämpfen.

Woronin machte 1866 als Erster die Beobachtung, daß die Knöllchen von Bakterien erfüllte Zellen enthielten, und Frank wies im Jahre 1879 nach, daß nur in nicht sterilem Boden die Wurzelanschwellungen bei Leguminosen auftreten. In Wasserkulturen konnte Ward beobachten, daß die Knöllchen in reicher Menge auftraten, wenn die Nährflüssigkeit mit zerschnittenen Knöllchen versetzt wurde, dagegen in steriler Lösung regelmäßig ausblieben. In Beziehung zur stickstoffsammelnden Fähigkeit der Leguminosen setzte die Knöllchen im Jahre 1885 zuerst Schindler, nachdem sie bereits vorher von Lachmann als Eiweißspeicher gedeutet waren.

Über Vermutungen kamen aber alle Forscher nicht hinaus, bis im Jahre 1886 auf Grund seiner klassischen, in Gemeinschaft mit Wilfahrt gemachten Untersuchungen Hellriegel die Gewißheit in folgenden, in ihrer einfachen Bestimmtheit monumentalen Sätzen gab, welche, jahrelang aufs bitterste von den Fachgenossen

bekämpft, dennoch sich Wort für Wort als wahr erwiesen haben und heute die Grundlage aller Forschungen und großer praktischer Anwendungen der Theorie der Stickstoffsammlung durch Leguminosen bilden:

„1. Die Leguminosen verhalten sich bezüglich der Aufnahme ihrer Stickstoffnahrung von den Gramineen prinzipiell verschieden.

2. Die Gramineen sind mit ihrem Stickstoffbedarf einzig und allein auf die im Boden vorhandenen Stickstoffverbindungen angewiesen und ihre Entwickelung steht immer zu dem disponibeln Stickstoffvorrat des Bodens in direktem Verhältnis.

3. Den Leguminosen steht außer dem Bodenstickstoff noch eine zweite Quelle zur Verfügung, aus welcher sie ihren Stickstoffbedarf in ausgiebiger Weise zu decken, bzw., sowie ihnen die erste Quelle nicht genügt, zu ergänzen vermögen.

4. Diese zweite Quelle bietet der freie elementare Stickstoff der Atmosphäre.

5. Die Leguminosen haben nicht an sich die Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, sondern es ist hierzu die Beteiligung von lebenstätigen Mikroorganismen im Boden unbedingt erforderlich.

6. Um den Leguminosen den freien Stickstoff für Ernährungszwecke dienstbar zu machen, genügt nicht die bloße Anwesenheit beliebiger niederer Organismen im Boden, sondern es ist nötig, daß gewisse Arten der letzteren mit den ersteren in ein symbiotisches Verhältnis treten.

7. Die Wurzelknöllchen der Leguminosen sind nicht als bloße Reservespeicher für Eiweißstoffe zu betrachten, sondern stehen mit der Assimilation des freien Stickstoffs in einem ursächlichen Zusammenhange."

Der Weg, auf welchem die beiden Forscher zu den in den zitierten Sätzen enthaltenen Ergebnissen kamen, wich von dem von ihren Fachgenossen in damaliger Zeit zur Ergründung der Ernährungsgesetze der Pflanzen betretenen in keiner Weise ab. Ohne ein besonderes Ziel hinsichtlich der Stickstoffernährung der Leguminosen im Auge zu haben, setzten sie die üblichen Versuche

mit Sandkulturen an, um den Nähreffekt bestimmter Nährstoffe zu prüfen. Dabei stellte sich dann zunächst, was übrigens Atwater, Wolff und Wagner kurz vorher gleichfalls schon beobachtet hatten, heraus, daß auf unsterilem Boden zeitweise die Leguminosen von einer Stickstoffgabe völlig unabhängig erschienen, während auf sterilem Boden ihre Produktion durchaus dem Gesetze des Minimums hinsichtlich des Stickstoffs entsprach[1]. „Sicher zeigte sich eine Unabhängigkeit vom Bodenstickstoff, ohne daß dem stickstofffreien Bodenmaterial mehr als eine nur sehr geringe Menge (1 bis 2 pro Mille) des Aufgusses eines Kulturbodens zugegeben wurde. Da sich diese auffallende Wirkung eines derartigen Bodenaufgusses unmöglich durch einen etwaigen Gehalt desselben an Stickstoff oder anderen Pflanzennährstoffen erklären ließ, und da seine Wirkung stets ausblieb, sobald man ihn vor dem Zusetzen aufkochte, so konnte nur eine Organismenwirkung in Frage kommen. Und in der Tat ließ sich feststellen, daß nur in jenen Fällen eine Beziehung des Wachstums zum Stickstoffgehalt des Bodens zu vermissen war, wenn an den Wurzeln der Pflanzen Knöllchen vorhanden waren. Während im sterilisierten und während der Vegetationszeit steril erhaltenen oder mit einem unwirksamen Aufguß versehenen Boden das Auftreten von Wurzelknöllchen stets unterblieb, war in nicht sterilisiertem, mit einem wirksamen Bodenaufguß versehenen Bodenmaterial die Bildung normal entwickelter Knöllchen stets nachweisbar und mit dieser war eine erhebliche Assimilation von Stickstoff, dessen Quelle im Boden nicht zu suchen war, immer verbunden. Eine und dieselbe Papilionaceenart wurde durch Bodenaufgüsse verschiedener Herkunft sehr ungleich beeinflußt, und ein und derselbe Bodenaufguß wirkte auf verschiedene Papilionaceenarten durchaus verschieden. So beförderte der Aufguß von einem vorzüglichen Zuckerrübenboden, in welchem zwar Erbsen und verschiedene Kleearten seit längerer Zeit in die regelmäßige Fruchtfolge eingeschoben waren, Serradella und Lupinen aber noch niemals gebaut waren, das Wachstum und den Stickstoffgewinn der Erbsen sicher und in bedeutendem Grade, hatte aber in der kleinen Menge, in der er verwandt wurde, für die Entwickelung der Serradella und der Lupinen nicht den geringsten Effekt.“

---

[1]) Lafar 3, 30, bearbeitet von Hiltner.

So waren in den ersten grundlegenden Versuchen bereits so ziemlich alle Gesichtspunkte berührt, welche in späterer Zeit namentlich für die praktische Verwertung der theoretischen Ergebnisse in Bodenimpfung und Züchtung hochvirulenter Knöllchenbakterien von Wichtigkeit wurden. Sie waren, wie schon erwähnt, verstreut von den verschiedensten Forschern schon betont, als Vermutungen hingestellt. Man hat daher Hellriegel die Priorität der Entdeckung der Bedeutung der Knöllchen absprechen wollen. Mit Unrecht! Die geniale Verknüpfung der einzelnen Wissensbrocken und Vermutungen zu einem festen und sicheren Wissensbau bleibt sein untilgbares Verdienst, das ihm keiner streitig machen kann.

2. Die Züchtung der Knöllchenerreger auf künstlichem Nährboden.

Bei der auch in praktischer Hinsicht immensen Wichtigkeit der Hellriegelschen Entdeckung für die gesamte Landwirtschaft kann es nicht wunder nehmen, daß alle Forscher, deren Arbeitsgebiet auch nur entfernt mit der Frage in irgend einem Zusammenhang stand, sich mit großem Interesse der Frage annahmen. Es war dies einerseits förderlich, indem dadurch eine gründliche und vielseitige Bearbeitung des Problems gesichert wurde, andererseits riß durch Arbeiten, denen oft jede Spur von Selbstkritik fehlte und die dennoch den Anspruch erhoben, ernst genommen und nachgeprüft zu werden, eine derartige Verwirrung der namentlich im Anfang ohnehin nicht ganz klaren Begriffe ein, daß dadurch entschieden viel Arbeitskraft und Zeit mit Nachprüfungen und Widerlegungen unhaltbarer Anschauungen nutzlos vergeudet ist. Es würde weit den Raum der Abhandlung überschreiten, auf die gesamte Literatur über die Knöllchenbakterien, welche nachgerade riesige Dimensionen angenommen hat, auch nur kurz einzugehen. Dieselbe findet sich vorzüglich berücksichtigt in dem trefflichen Handbuch der technischen Mykologie von Lafar, Bd. III, in welchem Hiltner, dessen Arbeiten wir einen besonderen Fortschritt unseres Wissens und Könnens auf dem Gebiete der Leguminosen-Bakteriologie verdanken, den betreffenden Abschnitt (Kap. 2) bearbeitet hat. Hier muß es genügen, die Hauptpunkte der Entwickelung zu berühren und den heutigen Stand unserer Kenntnis scharf zu skizzieren.

Der von Hellriegel gelieferte Beweis, daß es sich bei der Knöllchenbildung der Leguminosen und der Sammlung von Stickstoff durch die Knöllchen um eine Bakterien-, vorsichtiger ausgedrückt, Organismenwirkung handelt, war trotz seiner Überzeugungskraft doch nur ein indirekter. Trotzdem, wie schon oben erwähnt, Woronin bereits in den Knöllchenzellen die Bakterien direkt beobachtete und auch Forscher wie Kny sich für die Organismennatur des Knöllchenerregers aussprachen, wurde durch die ganz eigenartigen Anschauungen Franks, welcher in der Frage der Knöllchenbakterien sich überhaupt durch eine sehr unglückliche Hand in allen seinen mit großer Schärfe vorgetragenen und verteidigten Anschauungen ausgezeichnet hat, Brunchhorsts, Tschirchs und anderer, welche die Bakteroiden in den Knöllchen der Leguminosen, das sind die wirksamen Formen der Knöllchenbakterien in den Knöllchen selbst, für „geformte Inhaltsbestandteile der Leguminosenpflanzen" erklärten, alles wieder in Verwirrung gebracht, bis es im Jahre 1888 Beyerinck gelang, unter Verwendung von Papilionaceen-Blätterabsud, welcher an Stelle des Fleisch-Peptonwassers bei der Bereitung des Gelatinenährbodens trat, endlich den Knöllchenerreger zu züchten.

Unter Verwendung des Papilionaceen-Absuds nimmt man praktisch nach Beyerinck 7 Proz. Gelatine, 0,25 Proz. Asparagin und 0,5 Proz. Rohzucker. Die erforderliche Azidität soll in 100 ccm etwa 0,6 ccm Normalsäure betragen. „Auf Platten, welche aus diesem Nährboden hergestellt sind, bringt man eine geringe Menge einer Aufschwemmung, die man sich derart bereitet, daß man einige Cubikcentimeter sterilisierten Wassers mit ein wenig von dem Inhalt des Bakteroidengewebes eines frischen jungen Knöllchens mischt, das man zuerst mit Wasser gewaschen, dann eine kurze Zeit in Alkohol gelegt, vom diesem hierauf mit Äther befreit und endlich mit sterilisierter Messerklinge entzwei geschnitten hat. Die geringe Menge der Impfflüssigkeit wird von der Gelatine aufgesaugt, so daß die ausgesäeten Bakterien auf der Oberfläche verbleiben, wo ihr Wachstum am besten vor sich geht. Sie entwickeln sich hier zu kleinen, schleimigen, die Gelatine nicht verflüssigenden Kolonien. Prazmowski hat später die Kolonien, die sich auf der Oberfläche der Nährgelatine bilden, treffend mit Stearintröpfchen verglichen" (vgl. Hiltner, l. c.).

Die Knöllchenbakterien, welchen Beyerinck den Namen Bacillus radicicola unter Annahme der Arteinheit aller Knöllchenbakterien beilegte, gehören in ihren Jugendformen zu den kleinsten aller Lebewesen, die mit ihrer Größe von 0,9 : 0,18 μ sogar imstande sind, Chamberlandtfilter zu passieren.

Die eigene Bewegung dieser von Beyerinck als „Schwärmer" bezeichneten Jugendform ist so energisch, daß es häufig vorkommt, daß einzelne Individuen die Kolonie verlassen und damit Anstoß zur Bildung von Tochterkolonien geben.

Die Bakterien sind streng aerob. Enzyme, welche Leim, Stärke und Cellulose zu lösen oder zu vergären vermögen, werden nach Beyerinck nicht hervorgebracht, welche Ansicht nachmals durch verbesserte Forschungsmethoden widerlegt wurde. So wies Fermi mit Sicherheit ein proteolytisches Enzym in den Knöllchenbakterien nach, und es ist anzunehmen (s. u.), daß die Enzyme, wie überall, so auch in den Knöllchenbakterien, eine große Rolle spielen. Eine Temperatur von 60 bis 70° genügt, um die Kolonien vollständig abzutöten. Eine Sporenbildung findet also jedenfalls nicht statt und ebensowenig die Ausbildung etwaiger resistenter Dauerformen.

Schon Beyerinck beobachtete in seinen Kulturen, an deren Reinheit im übrigen nicht zu zweifeln war, das Auftreten wesentlich größerer Organismenformen, welche er als „Stäbchen" bezeichnete. Sie waren ein Vielfaches größer als die sogenannten Schwärmer. Bei 1 μ Breite zeigten sie eine Länge von 4 bis 5 μ, bei starker Beweglichkeit und ausgeprägtem Sauerstoffbedürfnis.

Es sind diese Formen, welche noch verschiedentlich zur Beobachtung gelangt sind, jedenfalls als die Beginne der Bakteroidenbildung aufzufassen, auf deren Bedeutung erst im nächsten Kapitel näher eingegangen werden soll. Hier sei nur kurz hervorgehoben, daß die sogenannten Bakteroiden die wirksamen Entwickelungsformen der Knöllchenbakterien sind, deren Auftreten den Beginn der N-Bindung bezeichnet.

Es gelang trotz der vorliegenden Versuche Beyerincks manchen Forschern nicht, auf künstlichen Nährböden Bakteroidenbildung mit der für diese Form charakteristischen Verzweigung usw. der Einzelorganismen zu erzielen. Stutzer wies jedoch später nach, daß bei Anwesenheit organischer Säure aus den Knöllchenbakterien von Vicia faba regelmäßig diese Formen entstehen.

Ganz allgemein, d. h. für die Mehrzahl aller bekannten Knöllchenbakterien erbrachten Hiltner und Störmer den Beweis, daß die Bildung von Bakteroiden stets in Lösungen vor sich geht, „die einen großen Überschuß an kohlenstoffreichem Material, namentlich Kohlenhydrate, enthalten". Geprüft wurden in dieser Richtung: Traubenzucker, Raffinose, Maltose, Mannit, Galaktose, Arabinose, Xylose, Stärke, Rohrzucker, Laktose, Lävulose, Bernsteinsäure, Apfelsäure, Zitronensäure und Weinsäure.

Es wurde auch beobachtet, daß Salpeter die Bakteroidenbildung bewirkt, d. h. die eigentümlichen Formänderungen der Bakterien, welche mit diesem Namen bezeichnet werden, hervorruft. Nicht aber vermag der Salpeter die Strukturänderungen der Organismen im plasmatischen Inhalt der Zellen, welche im Auftreten von Vacuolen und der Differenzierung des Plasmas bestehen (s. u.), zu bewirken. Und doch sind diese für den Vorgang der Stickstoffsammlung von größter Bedeutung, da ohne sie die Stickstoffbindung, mindestens in hohem Maße, nicht eintritt. Es ist dies ein Verhalten, das, wie später gezeigt werden soll, für die Praxis von hoher Wichtigkeit ist.

Die Frage, ob die Knöllchenbakterien fähig sind, auch in künstlichen Nährböden, also aus ihrem Zusammenhang mit den grünen Pflanzen getrennt und unter von den natürlichen absolut abweichenden Verhältnissen, Stickstoff zu assimilieren, hat schon durch Beyerinck eine bejahende Antwort erfahren. In acht Wochen Versuchsdauer gelang es ihm bei Reinkulturen von Knöllchenbakterien in Nährlösungen einen Stickstoffgewinn pro Liter Nährlösung festzustellen, welcher zwischen 8 und 19 mg schwankte. Hiltner und Störmer konnten später dieses Resultat bei ihren Versuchen in dieser Richtung nicht bestätigen. Die beiden Forscher wandten jedoch keinen Leguminosenextrakt zur Bereitung der Nährlösungen an und sind selbst der Ansicht, daß diese Unterlassung der Grund für das Scheitern ihrer Versuche gewesen ist. Für diese Anschauung sprechen auch die Versuche von Mazé, welche die genannten Forscher freilich nicht als ganz einwandfrei anerkennen wollen. Mazé will in Leguminosenextrakt von 2 bis 4 Proz. Traubenzucker 1 bis 2 mg N pro 1 g Traubenzucker fixiert haben. Löhnis hat gleichfalls verschiedentlich nachweisbaren Stickstoffgewinn beobachtet.

Die Versuche mit Knöllchenbakterien sind in dieser Richtung

noch sehr wenig zahlreich und die Resultate keineswegs eindeutig, da die Mehrzahl der Forscher es als lohnender betrachtet hat, und mit Recht, die Organismen unter natürlichen Verhältnissen oder mindestens im natürlichen Verbande mit ihren Symbionten — das Wort ist cum grano salis zu verstehen — zu beobachten.

Über den Einfluß der künstlichen Kultivierung auf die Knöllchenbakterien sind die Ansichten der Forscher noch recht geteilt. Während einzelne, wie Süchting, eine fortschreitende Degeneration bei öfterer Umimpfung auf künstlichem Nährboden, ohne Einschaltung einer unter natürlichen Verhältnissen erwachsenen Generation, beobachtet haben, wollen andere, und zu diesen gehört der Altmeister der Knöllchenbakteriologie, Hiltner, von einer solchen Degeneration nichts wissen. Einig ist man nur insofern, als einmütig der günstige Einfluß der mehrfachen Passage durch den Körper der höheren Pflanzen auf die Lebenskraft, vor allem die Virulenz der Knöllchenbakterien anerkannt wird, während sich die Kultivierung auf künstlichem Nährboden für die Zwecke der Praxis: die höchst wichtige Impfung der Leguminosensamen, durchaus bewährt hat.

Noch in einer Hinsicht hat die Kultur der Knöllchenbakterien auf künstlichem Nährboden Bedeutung erlangt, und das ist zwecks Unterscheidung der Arten, eine Frage, deren endgültige Klärung erst die Zukunft bringen kann. Neben Ansichten, die wegen ungenügender Berücksichtigung der Fehlermöglichkeiten kaum eine ernstere Beachtung wert sind — es wird z. B. die Fähigkeit, Knöllchen an Leguminosen zu erzeugen, den allerverschiedensten Organismen zugeschrieben und diese seltsame, einzig für unvorsichtige Versuchsanstellung sprechende Anschauung mit großer Schärfe und einem noch größeren Mangel an Selbstkritik verfochten —, sind zwei Anschauungen heute in Geltung. 1. Daß alle Knöllchenbakterien Varietäten einer und derselben Art sind, welche Anschauung heute besonders Jakobitz, Nobbe und Buhlert, Heinze und Moore vertreten wird, 2. daß die Knöllchenbakterien zwei Arten angehören.

Diese Ansicht teilten aus allerdings abweichenden Gründen in späterer Zeit Beyerinck, Mazé und in neuerer Zeit auch Hiltner und Störmer, welche eine zeitlang die Arteinheit aller Knöllchenbakterien behaupteten. Die Argumente für und wider liegen der Hauptsache nach in dem Verhalten der Knöllchenorga-

nismen zu ihren Wirtspflanzen und gehören dementsprechend in das folgende Kapitel.

Mit ein Grund zur Unterscheidung der beiden Spezies: Rhizobium Beyerinckii H. et St., zu welchen die Erreger der Wurzelknöllchen von Lupinen, Serradella, Esparsette und Soja gehören, und Rhizobium radicicola, welche die übrigen Knöllchenerreger umfaßt, ist aber auch das verschiedene Verhalten auf künstlichem Nährboden. Während die Angehörigen der ersten Art auf Gelatinenährboden verschiedener von Hiltner in seinen neueren Publikationen genau beschriebener Zusammensetzung nicht, oder sehr kümmerlich gedeihen, ist das Wachstum der letzteren Spezies darauf ein ausgezeichnetes. Es paßt diese Differenz zu sonstigen großen morphologischen und physiologischen Verschiedenheiten der beiden Arten, namentlich der in traubenzuckerhaltigen Nährlösungen entstehenden Bakteroiden, eine Beobachtung, deren Richtigkeit in neuerer Zeit von Stutzer bestätigt ist. Hinzu kommt das anscheinend sehr verschiedene Ausnutzungsvermögen der beiden unterschiedenen Arten für gewisse Kohlenhydrate und Stickstoffverbindungen. Es sei gestattet, die Schlußfolgerungen aus den betreffenden Untersuchungen mit den eigenen Worten der Autoren wiederzugeben [1]):

„1. In 1 proz. Traubenzuckerlösung werden die Knöllchenbakterien rasch zur Bildung von Bakteroiden veranlaßt, die sich durch ihre Größe und die Differenzierung ihres plasmatischen Inhalts von den normalen Kurzstäbchen, als welche sich die Knöllchenbakterien in unveränderter Form präsentieren, scharf unterscheiden.

2. Die Differenzierung des Plasmas besteht darin, daß sich der Inhalt der Bakteroiden sondert in ein mit Karbolfuchsin stark tingierbares und mit Jodtinktur eine rotbraune Farbe annehmendes, lichtbrechendes Plasma und einen durch Karbolfuchsin nur schwach oder gar nicht färbbaren, durch Jodtinktur rein gelb werdenden Bestandteil.

3. Das durch Jodtinktur meist rotbraun sich färbende Plasma hat bei den Knöllchenbakterien gewisser Leguminosenarten bei der Kultur in Traubenzuckerlösungen die Neigung, aus den Bakteroiden auszusprossen. Bei anderen kommen derartige

---

1) Hiltner und Störmer, l. c.

Aussprossungen ebenfalls, aber nicht so regelmäßig vor. Das betreffende Plasma verbleibt vielmehr meist innerhalb der Bakteroiden, indem es sich an bestimmten Stellen derselben lokalisiert, oder fast das ganze Bakteroid ausfüllt.

4. Die verschiedenen Knöllchenbakterien lassen sich nach ihrem Verhalten in Traubenzuckerlösungen zunächst in zwei ziemlich scharf voneinander getrennte Gruppen bringen. Die eine dieser Gruppen, zu der die Soja-, Lupinen- und Serradellabakterien gehören, zeichnet sich dadurch aus, daß die Bakterien, während sie sich in Traubenzuckerlösung zu Bakteroiden umwandeln, stets ihre stäbchenförmige Gestalt beibehalten, also nicht erheblich in die Breite wachsen, und daß sie ferner die Aussprossung meist nur an einem Ende bilden. Die Bakterien der zweiten Gruppe, zu der alle übrigen geprüften Arten gehören, wachsen in Traubenzuckerlösung auch meist in die Breite, wodurch sie zum Teil kugel- oder birnförmige Gestalt annehmen können. Das ganze Bakteroid kann sich bei diesen Arten mit dem stark tingierbaren Plasma anfüllen.

5. Die Umwandlung in Bakteroiden, die Differenzierung des Plasmas und der Beginn der Aussprossungen erfolgen bei den verschiedenen Knöllchenbakterien sehr ungleich schnell."

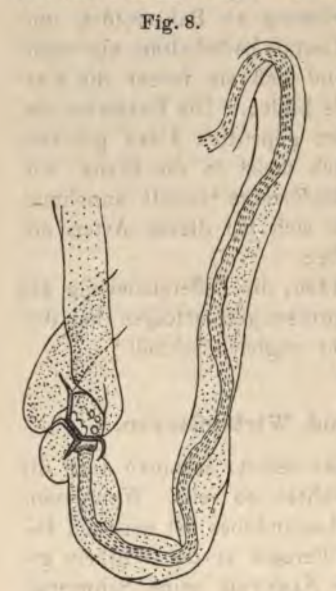
3. Knöllchenbakterien und Wirtspflanzen.

Wie die Gruppe der Papilionaceen selbst, scheinen auch die ihnen angepaßten Bakterien Kosmopoliten zu sein. Wenigstens hat man bisher noch stets an jeder Leguminose bei genauen Beobachtungen die Knöllchen und ihre Erreger an den Wurzeln gefunden, wenngleich zuweilen dieser Nachweis seine Schwierigkeiten hatte. Freilebend scheinen die Knöllchenbakterien gleichfalls weit verbreitet zu sein, keineswegs jedoch allgemein. In welcher Weise sie ohne „Symbiose" mit Leguminosenpflanzen im Boden leben, ist ein noch wenig bearbeitetes Kapitel ihrer Biologie, das wohl noch manche Überraschung bieten dürfte. Denn es ist anzunehmen, daß ein so sehr spezifizierter Organismus wie ein Rhizobium radicicola nicht ohne weiteres mehr unter den natürlichen Bedingungen des Kampfes ums Dasein sich auf seine eigenen Füße stellen kann, sondern immer mehr oder weniger auf Hilfe von Mitorganismen angewiesen sein dürfte.

Einigermaßen Klarheit über den weiteren Lebenslauf der Organismen hat man erst von dem Momente, wo sie mit der betreffenden Wirtspflanze in Berührung treten. Die Infektionspforte ist in der Regel ein Wurzelhaar, einer jüngeren Wurzel entsprungen. Bei Lupinus kommen jedoch wahrscheinlich die Lenticellen der Hauptwurzel mit ihrem lockeren Gewebe in Betracht, welche die Bakterien nach innen lassen.

Unter dem Einfluß spezifischer Enzyme, wie man neuerdings anzunehmen geneigt ist, erleiden die Spitzen der Wurzelhaare eigentümliche Formveränderungen, von welchen für Pisum sativum unsere Abbildung ein Bild gibt.

Fig. 8.



Von dem an der Spitze des Wurzelhaares angesammelten Bakterienhaufen — inwiefern hier vielleicht beim Auffinden solcher Wurzelhaare den Knöllchenbakterien ein Chemotropismus zu Hilfe kommt, ist meines Wissens noch nicht untersucht — dringen dann die Organismen durch die enzymatisch geschaffenen Eingangspforten in Form einer umscheideten Zoogloea, dem Wurzelhaar folgend, in die Rindenzellen der Wurzel, wo sich der „Infektionsfaden“ stark verzweigt. Durch die Entwickelung des „Infektionsfadens“, vielleicht durch dabei auftretende Reizstoffe, werden die Zellen des befallenen Rindenparenchyms zu sehr lebhafter Teilung angeregt. Es entstehen Aufschwellungen, die bekannten Knöllchen der Leguminosenwurzeln, in deren Innern die Zellen sich dicht aneinander drängen und dabei gegenseitig zu polyedrischen Formen pressen. Ein Schnitt durch ein solches Knöllchen bietet dann das typische Bild des sogenannten „Bakteroidengewebes“ (vgl. Tafelfigur 9, Abb. 4).

Der infizierende Organismus selbst ist bei diesem Vorgange nicht unverändert geblieben. Wohl schützt die umgebende Gallerte des Infektionsfadens die darin liegenden Bakterien sicherlich in

etwas. Da aber Nahrungsstoffe, wie aus dem rapiden Wachstum des Fadens hervorgeht, hindurchzutreten vermögen, können selbstverständlich auch Angriffsstoffe der Pflanze gegen den Parasiten, denn weiter sind die Knöllchenorganismen in diesem Stadium noch nichts, hindurch, und unter dem Einfluß dieser Stoffe, deren Nachweis allerdings noch aussteht, sowie, entsprechend dem Verhalten auf künstlichem Nährboden, unter der Wirkung reichlicher Kohlenhydraternährung bilden sich die Bakterien in große, oftmals veränderte Involutionsformen (Bakteroiden) um, deren Jugendstadien allerdings noch vermehrungsfähig sind.

Es darf nicht verschwiegen werden, daß Hiltner, also eine sehr gewichtige Stimme, sich entschieden gegen die Auffassung der Bakteroiden als Involutionsformen ausspricht und ihnen, wie verschiedene andere Autoren auch, Sporangiennatur zuschreibt, ohne hierfür allerdings bisher einen überzeugenden Beweis erbracht zu haben. Man wird eine Entscheidung dieser für systematische Fragen sehr wichtigen Angelegenheit erst von der Zukunft erwarten dürfen.

Besonders wichtig sind die Änderungen, welche dabei im plasmatischen Inhalt der Bakterien auftreten. Neben dem Entstehen von Vacuolen sondert sich der Inhalt der Bakteroiden einerseits „in ein mit Carbolfuchsinstärke tingierbares und mit Jodtinktur eine rotbraune Farbe annehmendes, lichtbrechendes Plasma und andererseits in einen durch Carbolfuchsinsäure schwach oder gar nicht färbbaren, durch Jodtinktur rein gelb werdenden Bestandteil“ (s. o. Hiltner und Störmer), wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt. Mit dem Auftreten dieser Differenzierung beginnt die Stickstoff sammelnde Tätigkeit der Knöllchen.

Diese kurze Skizze des Verlaufs der Bakterieninfektion mußte vorausgeschickt werden, um die nachfolgende Besprechung der Einzelheiten des Vorganges, deren Erkenntnis keineswegs so einfach war, wie es nach dem Gesagten scheinen könnte, durch die Möglichkeit der Anwendung der Termini technici zu erleichtern.

Es ist bereits oben erwähnt, daß den Bakterien zum Eintritt in die Wurzelhaare ein Enzym als Angriffsstoff zur Verfügung steht. Nobbe, Hiltner und Störmer, welche auf dem Gebiete der Knöllchenbakteriologie über weitaus die größten Erfahrungen verfügen, haben den Nachweis erbracht, daß diese Angriffsstoffe stark spezifiziert und bei jeder Bakterienvarietät, noch mehr

natürlich bei den beiden Arten, an die entsprechenden Wirtspflanzen angepaßt sind. Während es gelingt, Bakterien derselben Art, also z. B. die Varietäten von Rhizobium radicicola oder Rhizobium Beyerinckii, an die verschiedenen zu ihrer Gruppe von Wirten gehörigen Leguminosen allmählich durch immer wiederholte Impfung anzupassen, ist es nicht möglich, wenigstens bisher nicht, die eine Art in die andere überzuführen. Niemals ist es bisher gelungen, trotz weitgehender morphologischer Gleichheit die physiologischen Fähigkeiten der einen Gruppe in die für die andere Gruppe von Bakterien charakteristischen umzuändern, so daß Hiltner zur Unterscheidung zweier Arten sich auf Grund dieser Tatsache berechtigt hält. Während es also möglich ist, mit Bakterien von Erbsen z. B. allmählich auch ein Bohnenknöllchen zu erzeugen, gelingt es nicht, trotz zahlreicher Umimpfungen mit Erbsenbakterien Knöllchen an Lupinen zu erzeugen. Die Erbsenbakterien sind nicht imstande, überhaupt in die Wurzeln der Lupinen einzudringen, da ihnen das betreffende Enzym mangelt und sich auch durch Züchtung nicht erzielen läßt. Die Virulenzunterschiede der beiden Arten sind konstant, die der Varietäten lassen sich ändern[1]).

Hiltner ist es gewesen, welcher Klarheit in diese außerordentlich interessanten Verhältnisse durch seine langjährigen Untersuchungen gebracht hat. Es sei gestattet, das Resümee dieser Untersuchungen, wie er selbst es gibt, zu zitieren:

„Je nach dem Virulenzgrad der Knöllchenbakterien gegenüber bestimmten Pflanzenarten kann man folgende Abstufungen unterscheiden:

„1. Die Bakterien vermögen überhaupt nicht in die Wurzeln einzudringen. Dies ist z. B. der Fall, wenn man Bohnenpflanzen mit Bakterien aus Rotkleeknöllchen impft. Es mangelt diesen Bakterien anscheinend an jenen jedenfalls enzymatischen Stoffen, welche der Membran der Wurzelhaare der Bohnen gallertige Beschaffenheit verleihen und dadurch den Bakterien erst das Eindringen ermöglichen. Da Kleebakterien derselben Reinkultur in Kleewurzeln sofort eindringen, so ergibt sich daraus, daß nicht das Enzym, der Angriffsstoff der Bakterien an sich, fehlt, sondern

[1]) Trotzdem eigene Versuche zu dem gleichen Ergebnis führten, hält Moore, welcher sich gleichfalls mit der Frage der Arteinheit beschäftigt hat, an dieser fest.

nur das auf Bohnen wirkende. Durch allmähliche Anpassung werden aber auch Kleebakterien befähigt, in die Bohnenwurzeln einzudringen. Die Eigenschaften des Enzyms sind also wandelbar. Sehr unwahrscheinlich ist, daß sich auch Rhizobium Beyerinckii in Rhizobium radicicola überführen läßt, daß es also beispielsweise gelänge, Lupinenbakterien in Bohnenbakterien überzuführen. Bestände diese Möglichkeit, so müßte natürlich die Trennung in zwei Spezies fallen. Über diese Frage können nur weitere Versuche entscheiden.

„2. Die Bakterien dringen zwar in die Wurzeln ein, werden aber sofort resorbiert, weil sie der Pflanze gegenüber zu schwach sind, und es kommt nur zu unbedeutenden Wurzelanschwellungen, die später wieder vollständig verschwinden. (Diesen Fall beobachtete Hiltner an Wasserkulturen, die mit sehr schwach virulenten Lupinenbakterien geimpft worden waren.)

„3. Die Bakterien dringen in die Wurzeln ein und erzeugen auch Knöllchen, aber dadurch, daß die Bakterien vollständig oder zum größten Teil von den Zellkernen resorbiert werden, bleiben diese Knöllchen unwirksam. (Hierher gehören Beispiele von unwirksamen Lupinenknöllchen und verschiedene von Nobbe und Hiltner beschriebene Fälle.)

„4. Die Bakterien erzeugen wirksame, d. h. N sammelnde Knöllchen. Je nach dem Virulenzgrade und dem Stickstoffsammlungsvermögen der Bakterien ist die Wirksamkeit solcher Knöllchen aber sehr verschieden groß. In einem Boden, der bereits wirksame Bakterien enthält, kann daher durch Impfung mit virulenten Bakterien die Stickstoffsammlung noch beträchtlich gesteigert werden.

„5. Die Virulenz der Bakterien ist so groß, daß die Pflanzen im Vergleich zu solchen, deren Knöllchen durch weniger virulente Bakterien erzeugt wurden, eine Schädigung erfahren.

„6. Die Bakterien erweisen sich der Pflanze gegenüber, namentlich wenn diese ungünstig ernährt wird oder durch sonstige Einflüsse geschwächt ist, als reine Parasiten. Sie verwandeln sich innerhalb der Knöllchen nicht in Bakteroiden. Die Stickstoffsammlung unterbleibt deshalb, und die Ernährung der Bakterien erfolgt ausschließlich auf Kosten der Pflanze: Es tritt Bakterienüberwucherung ein, über die auch schon Beyerinck Angaben machte."

Eine rein parasitische Wirkung von Knöllchenbakterien bildet stets den Anfang ihrer Tätigkeit. Auf die Dauer macht sie sich jedoch vornehmlich dann geltend, wenn Mineralstoffe im Boden zur Ernährung der Pflanze fehlen und die Pflanze dementsprechend durch Nahrungsmangel geschwächt ist. Andererseits wurde von den verschiedensten Forschern, besonders von Wohltmann, eine außerordentlich günstige Wirkung der Kaliphosphatdüngung auf die Bildung von Knöllchen festgestellt. Für den eigentlichen, parasitischen Charakter der Knöllchenbakterien spricht auch eine weitere Tatsache, die aus der tierischen Physiologie wohlbekannt, wie Hiltner betont, im Pflanzenreiche einzig dasteht. Diese weitere Parallele zwischen Tier und Pflanze bildet: Die Immunität bereits mit Knöllchenbakterien infizierter Pflanzen gegen Bakterien gleicher oder geringerer Virulenz.

Es sprechen für diese Tatsache zahlreiche Versuche Hiltners, vor allem aber die eigentümliche Verteilung der Knöllchen an den Pflanzenwurzeln in der Natur.

Dieselben sind nicht regellos an den einzelnen Wurzeln verteilt, sitzen vielmehr gehäuft möglichst nahe der Bodenoberfläche am oberen Teile der Wurzeln und nehmen nach unten schnell an Zahl und Größe ab. „Gegenüber der geltend gemachten Anschauung, daß hier deutlich das Sauerstoffbedürfnis der Knöllchen bzw. der in ihnen lebenden Bakterien zum Ausdruck gelangt (welches freilich, nach dem Verhalten der Knöllchen in Wasserkulturen ihrer Wirtspflanzen und dem Verhalten der Bakterien auf künstlichem Nährboden zu schließen, immerhin eine nicht unbeträchtliche Rolle spielen dürfte. D. Verf.), konnten bereits Nobbe und seine Mitarbeiter geltend machen, daß z. B. die Erbse auch an tief streichenden Wurzeln wirksame Knöllchen zu bilden vermag, sobald Bakterien auch in tiefere Schichten des Bodens, und, wie Hiltner später nachwies, nur in solche eingeführt werden.“ Die oberen Wurzelteile bleiben in diesem Falle frei von Knöllchen. Sind aber bereits an den oberen Wurzeln Knöllchen vorhanden, so bleibt eine Impfung von unten ohne Erfolg.

Das auskeimende Würzelchen eines Samens findet in den oberen Schichten des Ackerbodens meistens Gelegenheit, sich zu infizieren. So entwickeln sich auch die Knöllchen an den Wurzeln nahe der Oberfläche. Eine Entwickelung von Knöllchen

in tieferen Partien bleibt aus, trotz Vorhandensein von Bakterien in den in Betracht kommenden Bodenschichten, welche bei Ausbleiben von Knöllchenentwickelung nahe der Oberfläche eine solche sicher in eben diesen tieferen Schichten hervorrufen würden. An der Tatsache der Immunität bereits mit Knöllchen versehener Pflanzen gegen eine weitere Infektion ist bei richtiger Würdigung dieser einwandfreien Beobachtung nicht zu zweifeln.

Ob freilich die Hiltnersche Anschauung, die Immunisierung werde nicht nur durch die Kräftigung der Pflanzen, sondern durch einen von den Bakterien erzeugten spezifischen Stoff bewirkt, welchen die Pflanze zu ihrer Ernährung verwendet und dadurch allen Organen mitteilt, ob diese Anschauung zu Recht besteht, muß die Zukunft lehren. Es handelt sich bei dem Verhältnis zwischen Pflanze und Knöllchenbakterien um eine wenigstens anfangs rein feindliche Invasion eines Organismus in einen anderen in parasitischer Absicht. Hält man sich dies vor Augen, so hat entschieden die Annahme Süchtings, die Immunisierung der Pflanze erfolge durch von ihrer Seite zur Abwehr dieser Parasiten gebildete Antikörper, mindestens größere Wahrscheinlichkeit, namentlich in Parallele zum Tier.

Ein weiteres Streitobjekt der Fachforscher ist die eigentliche Natur des Infektionsfadens. Der Streit ist insofern entschieden, als dieses oben beschriebene Gebilde jetzt wenigstens allgemein als mikroorganischen Ursprungs betrachtet wird, während es im Anfang der Forschung von Frank als eine Bildung der Pflanze selbst zum Einfangen der für sie nützlichen Bakterien, als „Fangfaden“ beschrieben wurde. Über Einzelheiten gehen die Ansichten aber noch sehr auseinander. Es würde zu weit führen, diese Einzelheiten hier alle zu besprechen. Es seien nur die wichtigsten Punkte hervorgehoben. Die Gallerthülle der Bakterienmasse, welche die Fäden füllt, soll nach einigen Autoren von den Zellen der Pflanzen herstammen, während sie, in ihrer Zusammensetzung der Cellulose (nach Koch und Beyerinck) ähnlich, von anderen als Produkt der Bakterien gedeutet wird. Keineswegs Klarheit herrscht ferner über die Form, in welcher die Mikroorganismen in den Fäden vertreten sind, ob als eigentliche Bakterien oder schon in der Form der Bakteroiden. Auch über die Austrittsstelle der Organismen aus den Fäden in die Gewebe der Pflanze, ob am Ende des Fadens oder

an anderen Stellen, herrscht keine Einigkeit. (Tafelfigur 9: Bakteroiden 7—9, Infektionsfäden 5—6, Knöllchenquerschnitte 2 u. 4.)

Es scheint dies eine Sache von geringer Bedeutung zu sein. In Verbindnng mit der Deutung der seltsamen Anschwellungen der Infektionsfäden, von welchen unsere Abbildung nach den vorzüglichen Abbildungen von Stefan eine Vorstellung gibt, und ihren weiteren Konsequenzen bezüglich der Natur der Bakteroiden gewinnt sie jedoch an Wichtigkeit.

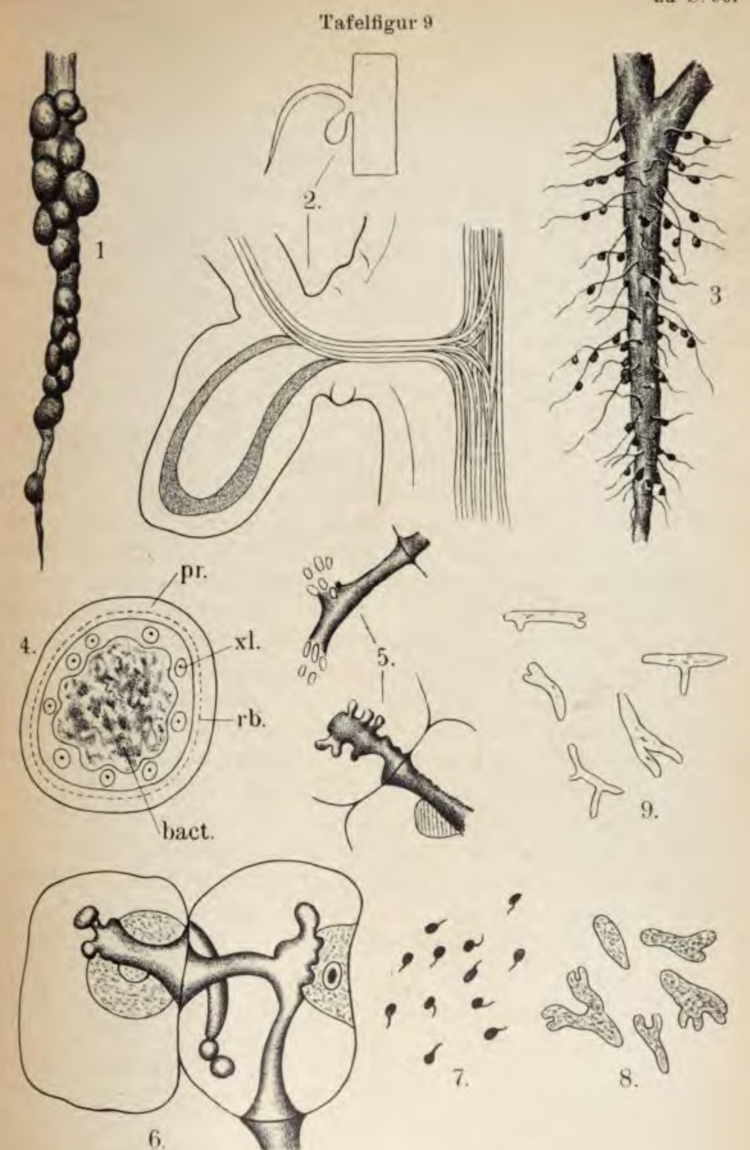
Schließlich hat es nicht an Ansichten gefehlt, welche die Infektionsfäden einfach als die Hyphen eines Fadenpilzes bezeichnen, wozu eine flüchtige Beobachtung allerdings verführt, während genaues Hinsehen große und deutliche Differenzen ergibt. Ein besonderes Interesse in dieser Frage darf vielleicht die Ansicht von Zukal beanspruchen, welcher die Möglichkeit nicht von der Hand weist, den Knöllchenerreger als Myxobakterie anzusprechen, wodurch die Entwickelung der Infektionsfäden mit ihrer komplizierten Gestaltung in der Tat jede Sonderbarkeit, die ihr bei reiner Bakteriennatur des Erregers unzweifelhaft anhaftet, mit einem Schlage verlöre. „Der Gedanke, daß Bakterien in nackte, rhizopodenartige Gebilde übergehen können, die dann miteinander fusionieren, ist um nichts phantastischer als die Schwarmsporenbildung überhaupt. In seinem Lichte würden sich manche Erscheinungen, die bisher dunkel blieben, sofort erhellen. Ich denke z. B. an den Infektionsschlauch des Rhizobium leguminosarum."

Sollten sich die Forschungen Dunbars bestätigen, welcher zu der Überzeugung kam, daß Temperatur- und Ernährungsunterschiede bei niederen Organismen imstande sind, die Grenzen der Art zu verwischen, so daß es gelang, aus Algen je nachdem Fadenpilz oder bakterienartige Gebilde zu züchten (?), so dürfte diese revolutionierende Methode an dem Knöllchenerreger ein dankbares Studienobjekt finden.

Streitig ist auch, wie oben angedeutet, die eigentliche Natur der Bakteroiden, deren Name schon einer irrtümlichen Anschauung seinen Ursprung verdankt. Brunchhorst und mit ihm Tschirsch, Frank und andere sahen in diesen Entwickelungsformen des Knöllchenerregers Eiweißgebilde der Leguminosen selbst, „die von ihr erzeugt und wieder aufgelöst werden, in denen aber ein mikrokokkusartiger Mikrobe eingeschlossen ist", und be-

zu S. 90.

Tafelfigur 9



Knöllchenbakterien und Pflanze.

2., 5., 6., 9. nach Stefan; 3., 4., 7., 8. nach Beyerinck.

1. Knöllchen (Lupinentypus) von Lupinus. 2. Scheinbar achselständiges Knöllchen, nat. Gr. und vergr. Querschnitt. 3. Knöllchen von Vicia faba (Robiniatypus). 4. Querschnitt durch Knöllchen von Vicia sativa, pr. = prim. Rinde mit rb. = Rindenbakterien; xl. = Xylemstränge; bact. = Bakteroidengewebe. 5. Fadenstücke mit Bakteroiden. 6. Zellen mit Fäden von Trif. pannonicum. 7. bis 9. Bakteroidenformen von Soja, Vicia und Melilotus.

nannte sie daher mit dem Namen „Bakteroiden" (bakterienartige Gebilde).

Später stellte Brunchhorst und Möller die Behauptung auf, daß die Bakteroiden als eine Art Sporangien aufzufassen seien, Hiltner, Störmer und auch Heinze schlossen sich dieser Ansicht an, ohne indessen einen zwingenden Beweis erbringen zu können. Soweit sich die übrigen Spezialforscher nicht abwartend in dieser Frage verhalten, deren hohe systematische Wichtigkeit zugegeben werden muß, dürfte die Deutung der Bakteroiden als in ihrer Jugend noch teilungsfähige Involutionsformen vorwiegend sein.

Wesentlicher noch ist die Frage über die Bedeutung dieser Körper für den Vorgang der Stickstofffixierung im Leguminosenknöllchen und die Stickstoffernährung der Pflanze. Nachdem feststeht, daß die Fixierung des Stickstoffs im Knöllchen erfolgt und nicht etwa nach einer höchst abenteuerlichen Hypothese durch den Gesamtorganismus der Leguminosenpflanzen, welche durch ein aus den Knöllchen stammendes Enzym dazu angeregt werden sollen, kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, daß man in den Bakteroiden, mögen diese nun Involutionsformen der Bakterien oder irgendwelche andere Entwickelungsstadien des Mikroorganismus sein, die eigentlichen Instrumente der Stickstoffbindung zu sehen hat. Sie sind dies aber erst von dem Augenblicke an, in welchem das Plasma sich in ihnen differenziert hat (s. o.). Es müssen dementsprechend zwischen dem gänzlichen Verbrauch von Bodenstickstoff, welcher zu dieser Differenzierung des Plasmas unbedingt eingetreten sein muß, in welcher Forderung alle Autoren übereinstimmen, und der Aufnahme der Assimilation durch die Bakteroiden, welche infolge der nur allmählich vor sich gehenden Differenzierung des Plasmas sich verzögert, die Pflanzen eine Zeitlang Mangel an Stickstoff leiden. Ein überall zu beobachtendes „Hungerstadium" bei Leguminosen gibt der theoretischen Forderung in der Tat Recht.

Interessant ist die von Remy festgestellte Tatsache, daß Bakterien aus Knöllchen von Leguminosen, welche mit Stickstoff gedüngt waren, sich erheblich wirksamer erwiesen als solche von Pflanzen, die von vornherein auf den Stickstoff der Luft angewiesen waren. Es spricht diese Beobachtung dafür, daß eine Auswahl und damit vielleicht auch Höherzüchtung der kräftigsten,

virulentesten Bakterien in der Weise stattfindet, daß nur diese die kräftige Pflanze, welche keinen Stickstoffmangel leidet, zu infizieren vermögen und sich unter den für sie sehr ungünstigen Lebensverhältnissen, die die Anwesenheit von Bodenstickstoff zweifellos bedeutet, behaupten können.

„Sobald die Schmetterlingsblütler sich anderweit Stickstoff beschaffen können, geben sich die Stickstoff sammelnden Bakterien der Ruhe hin", schreibt Wagner. Richtiger ist: sehen sich die Stickstoff sammelnden Bakterien zu unfreiwilliger Muße gezwungen, weil sie entweder in die Pflanzen überhaupt nicht eindringen können oder aber die notwendige Differenzierung des Plasmas der Bakteroiden als Vorbedingung der Assimilationsfähigkeit nicht erfolgt (s. o.). Besonders stark hinderlich in dieser Beziehung hat sich der leicht lösliche Salpeterstickstoff erwiesen, während Humusstickstoff weniger schadet. Humus allgemein wirkt sogar günstig auf die Entwickelung der Knöllchen an Leguminosen ein, vorausgesetzt, daß er ein gewisses Maximum der Anwesenheit nicht überschreitet.

Während Hiltner und Moore für eine direkte Schädigung der Bakterien selbst durch löslichen Stickstoff, speziell Salpeterstickstoff, sich aussprechen, wendet sich Süchting entschieden gegen diese Annahme und will nur Kräftigung der Pflanzen als Grund für geringere Virulenz der Organismen auf N-haltigen Böden anerkennen.

In sehr vielen Fällen hat sich die schädliche Wirkung des Bodenstickstoffs überhaupt nicht beobachten lassen. Eine interessante Erklärung hierfür gibt Hiltner (in Heft 98 der Arbeiten der D. L. G.):

„Die an den Boden wirklich angepaßten Leguminosenpflanzen können außer mit den in ihre Wurzeln eindringenden Knöllchenbakterien noch in nähere Beziehungen zu Bakterien treten, die außerhalb ihrer Wurzeln im Boden leben, denen hauptsächlich die Fähigkeit zukommt, den löslichen Bodenstickstoff in eine unlösliche, von den Pflanzen zunächst nicht aufnehmbare, aber wieder leicht zersetzbare Form überzuführen. Durch diese Festlegung können nicht nur die Leguminosenpflanzen ungehindert aus ihren Knöllchen Vorteil ziehen, sondern es wird auch den im Boden frei lebenden, Stickstoff sammelnden Bakterien, die nach allen bisherigen Beobachtungea durch Salpeter oder andere von höheren Pflanzen

aufnehmbare Stickstofformen ebenfalls in ihrer Tätigkeit beschränkt werden, den freien Stickstoff aufzunehmen, innerhalb der Einflußsphäre der Wurzeln oder innerhalb der „Rhizosphäre", wie ich mich künftig ausdrücken will, die Möglichkeit geschaffen, ihre nützliche Tätigkeit zu entfalten, und erst dadurch, und keineswegs durch die Knöllchenwirkung allein, läßt es sich erklären, warum die Leguminosen den Boden mit Stickstoff anreichern, der der Nachfrucht zugute kommt."

Die Tatsache, daß zwischen Leguminosen wachsende Gramineen besonders gut gedeihen, erhält hierdurch eine plausible Erklärung, worauf in seiner öfters angezogenen Sammelarbeit auch bereits Vogel[1]) hinweist. Das gute Gedeihen der Wiesengräser zwischen Kleearten dürfte in dieser Wirkung der Kleearten seinen Grund haben, vorausgesetzt, daß sich die Hiltnersche Ansicht bestätigt, und damit die Lehre vom Wiesen- und Weidenbau, speziell wohl die heiß umstrittene Frage der Saatmischungen zu Daueranlagen ein wesentlich anderes Gesicht gewinnen. Daß übrigens das bessere Gedeihen der Gramineen im Verein mit Leguminosen ein deutliches ist, dafür lieferte ein Roggen-Leguminosenfeld der k. bayer. Moorkulturstation Bernau a. Ch. im Jahre 1905 den Beweis, wo der Roggen in unerhörter Üppigkeit sich entwickelt hatte, ohne daß ein Grund in der Düngung oder Bodenzusammensetzung des Feldes erkennbar war. Vielleicht ein Schulbeispiel für Hiltners Hypothese.

Der Vorgang der N-Bindung an sich ist ebenfalls noch sehr der Klärung bedürftig. Man weiß nicht, ob die Assimilation des Stickstoffs in den Bakteroiden selbst vor sich geht, oder aber ob die Produkte der Bakteroiden in Verbindung mit Stoffen der Pflanzen den freien Stickstoff zu binden vermögen, speziell der mit Jodtinktur rotbraun sich färbende Bestandteil des Plasmas, welcher namentlich bei der Spezies Rhizobium Beyerinckii große Neigung zeigt, aus den Bakteroiden auszusprossen, welche Aussprossungen nach Überwindung des Hungerstadiums sich jedoch nicht beobachten lassen, sondern von der Pflanze offenbar absorbiert sind.

Eine Resorption der Bakteroiden selbst findet entgegen der früheren Annahme nur dann statt, wenn die Bakterien zu geringe Virulenz haben, um den Verteidigungs-Stoffen oder -Maßregeln der

---

[1]) Vogel, l. c.

Pflanzen, vielleicht speziell der Einwirkung der Kerne der Zellen, widerstehen zu können. Mit der Resorption der Bakteroiden ist jede N-Bindung verhindert, wenn vielleicht auch Bildung eines Knöllchens eintritt. Knöllchenbildung an sich ist also für die Fähigkeit einer Leguminose, sich von dem Bodenstickstoff unabhängig zu machen, allein noch nicht maßgebend.

Der elementare Stickstoff wird vermutlich den Knöllchen mit dem Wasser zugeführt, welches die Pflanzenwurzeln dem Boden entnehmen. Hiltner konnte diese Vermutung von Bouquet dadurch bestätigen, daß er einen engen Zusammenhang zwischen der Transpirationsenergie der Leguminosen und ihrer Stickstoffsammlung nachwies. Die zur Bindung des Stickstoffs führenden chemischen Reaktionen selbst liegen noch völlig im Dunkeln.

Wie weit die Anhäufung stickstoffhaltiger Substanzen in den Knöllchen auch unter normalen Verhältnissen — als krankhaft ist dieser Vorgang noch einer erheblichen Steigerung fähig und haben die daraus resultierenden Degenerationserscheinungen der Knöllchen zu den verschiedensten, hier nicht zu berührenden Mißdeutungen Anlaß gegeben — geht, mögen folgende nach Hiltner zitierte Analysendaten Stoklasas zeigen.

Es enthielt bei Lupinus luteus die Trockensubstanz	Zur Zeit der Blüte Proz. N	Zur Zeit des Fruchtansatzes Proz. N	Nach erlangter Reife d. Frucht Proz. N
Wurzelknöllchen	5,2	2,6	1,7
Knöllchenfreie Wurzel .	1,6	1,6	1,4

Der Stickstoff der Knöllchen ist vorwiegend Eiweißstickstoff. Frank hat unter Zugrundelegung des Faktors 6,25 sogar einen Eiweißgehalt von 46,5 Proz. der Trockensubstanz von Buschbohnenknöllchen beobachtet, also Gehalte, die sonst im Pflanzenreich überhaupt nicht vorkommen.

Was schließlich die Knöllchen als Ganzes anbelangt, so sind hier sehr frühzeitig deutliche typische Unterschiede bemerkbar, welche sich ziemlich mit den unter den Bakterien selbst getroffenen Unterscheidungen decken. Beim Lupinentypus (nach Tschirch) ist das Knöllchen unregelmäßig breit einer stärkeren Wurzel angewachsen. Von einheimischen Pflanzen gehört hierher vor allem die Lupine. Beim Robiniatypus, zu welchem nach Tschirch alle

übrigen Leguminosenknöllchen gehören, sitzen die Knöllchen dünneren Wurzeln mit enger Fläche an, oder sind durch eine Art Hals damit verbunden. Die Form des Einzelknöllchens, ob länglich, rund oder gegabelt, variiert sehr stark innerhalb dieser Typen je nach der Wirtspflanze, entsprechend der Verteilung des Meristems der Knöllchenanlagen. „Bei den länglichen Knöllchen bildet das Meristem eine terminale Kappe, welche am Längsschnitt halbmondförmig erscheint. Nach längerer Tätigkeit des Meristems wird das Knöllchen natürlich eine keilförmige Gestalt annehmen, welche in der Tat bei Klee und anderen vorkommt." Rundliche Knöllchen bilden kein eigentliches Meristem. Ihr Zuwachs geht durch rasche allseitige Zellenvermehrung vor sich. Spaltet sich das üppig wachsende Meristem, so entstehen verästelte Knöllchen der verschiedensten Formen, deren Größe insofern an der einzelnen Pflanze von Bedeutung zu sein scheint, als viele kleine Knöllchen bessere Assimilationsergebnisse liefern sollen als wenige große.

„Die Entwickelungsart der Knöllchen ist Funktion der Bakterienwirkung und der Gegenwirkung der Pflanze" (Stefan).

VIII. Die Bodenimpfung mit Knöllchenbakterien.

Es ist oben ausführlich erläutert, warum eine Impfung mit frei lebenden Bodenbakterien im Felde als ein von vornherein aussichtsloses Unternehmen erscheinen muß. Wesentlich anders steht die Sache mit den Knöllchenbakterien. Die frei lebenden Bakterien haben in dem Boden, welchem sie durch Impfung einverleibt werden, einen harten Kampf ums Dasein zu bestehen, ohne daß wir imstande sind, ihnen in diesem Kampfe zu Hilfe zu kommen. Impfen wir dagegen den Boden mit Knöllchenbakterien und bauen die betreffende Leguminose darauf an, so erwächst in dieser, deren Wurzeln natürlich sofort durch die Knöllchenbakterien infiziert werden, diesen Organismen eine so gewaltige Hilfe, daß sie sofort überall Konkurrenten, die sie bei freiem Leben im Boden bald vernichten würden, ihrerseits den Vorrang abgewinnen.

Für die Notwendigkeit der Impfung in vielen Fällen spricht die Tatsache, daß neu einzuführende Leguminosen, wie

in vielen Gegenden Serradella oder die aus Japan importierte Sojabohne, an ihren neuen Standorten keine Knöllchen entwickeln, offenbar, weil ihnen die Bakterien dazu im Boden fehlen, von denen auch schwer einzusehen sein würde, wie sie in den Boden gelangt sein sollten, wenn die Pflanze, wie z. B. Soja, noch niemals auf dem Boden gewachsen ist. Es ist nun freilich beobachtet worden, daß allmählich zu der Leguminose ihre spezifischen Bakterien sich einfinden, oder aber aus verwandten Formen sich anpassen — ist dies doch sogar bei Soja vermutlich mit Lupinenbakterien der Fall gewesen. Es ist aber klar, daß eine solche Anpassung mehr oder weniger das Werk des Zufalls ist und jedenfalls einen längeren Anbau der Leguminose auf dem betreffenden Acker zur Voraussetzung hat, während dessen die Ernten sich vollständig von dem meist recht geringen Stickstoffgehalt des Bodens abhängig erweisen. Es wird demnach dadurch der Zweck des Leguminosenanbaues, die Stickstoffsammlung, eine Zeitlang völlig verfehlt.

Die Beobachtung, daß Erbsen bei neu kultivierten Moorflächen sich offenbar in dieser ungünstigen Lage, ihre Knöllchenerreger entbehren zu müssen, befanden, veranlaßte Salfeld, den Versuch zu machen, den Pflanzen künstlich zu ihren Symbionten oder Parasiten, wie man die Knöllchenbakterien nun nennen will, zu verhelfen, indem er von einem Felde, welches bei sehr starker Knöllchenentwickelung an den Wurzeln der darauf stehenden Erbsen eine sehr gute Ernte getragen hatte, Erde auf die Moorfläche bringen ließ, um sie mit den Erbsenbakterien zu infizieren, zu impfen. Die Verwendung dieser Naturimpferde hatte glänzenden Erfolg. Die Erbsen im nächsten Jahre bildeten reichliche Knöllchen und brachten eine vorzügliche Ernte, die selbst die Kosten der Überführung mit Erde bei weitem aufwog. Die Bodenimpfung mit Knöllchenbakterien hatte sich als durchführbar und aussichtsreich erwiesen und wurde in der von Salfeld angewendeten Form von diesem selbst und vielen Landwirten mit oft gutem Erfolge ausgeführt.

Immerhin erwies sich das Verfahren nicht als durchaus sicher. Es kam oft vor, daß nur eine ganz schwache oder gar keine Wirkung der Naturimpferde sich bemerkbar machte, was dann einen um so empfindlicheren Schlag bedeutete, als die Kosten des Verfahrens wegen der verhältnismäßig großen Erd-

menge, deren Herbeischaffung und Ausstreuung viel menschliche Arbeit erforderte, recht hohe waren.

Da die Erde offenbar nur durch ihren Gehalt an Knöllchenbakterien, die der betreffenden Leguminose angepaßt waren, wirken konnte, mußte diese Wirkung auch eintreten, wenn man die Bakterien nicht der Erde eines Leguminosenfeldes, sondern künstlichen Kulturen entnahm. Versuche in dieser Richtung führten denn auch zu teilweise sehr guten Resultaten, und bereits im Jahre 1896 führten Nobbe und Hiltner durch die Höchster Farbwerke Reinkulturen der verschiedenen angepaßten Knöllchenbakterien unter dem Namen „Nitragin" in den Handel und damit in die große Praxis ein. Dieses Nitragin sollte entweder zur Impfung des Bodens oder zur Impfung der Samen verwandt werden, um eine schleunige Entwickelung der Knöllchen an jungen Leguminosenpflanzen zu veranlassen.

Da der Nutzen eines solchen Verfahrens einleuchtete, wurden sehr zahlreiche Versuche von Theoretikern und Praktikern in Angriff genommen, die zu dem Ergebnis führten, daß zwar zuweilen die Erfolge der Nitraginanwendung ganz überraschend gute waren, daß aber in weitaus der Mehrzahl der Fälle ein Erfolg nicht zu verspüren war. Die Folge war, daß das Nitragin allmählich (bis zum Jahre 1900) wieder aus dem Handel verschwand.

Das Ausbleiben des Erfolges erklärte sich vielfach dadurch, daß das verwandte Impfmaterial nicht virulent genug war. Es ist schon oben ausführlich die Frage der Virulenzsteigerung der Knöllchenbakterien behandelt, so daß hier auf das bereits Gesagte verwiesen werden kann. Aber auch mit Steigerung der Virulenz der Bakterien, wie sie Hiltner und seinen Mitarbeitern bald gelang, war noch nicht jede Schwierigkeit der Anwendung zu Impfzwecken behoben.

Eine sehr große Quelle des Mißerfolges lag in dem angewandten Impfverfahren selbst. Vogel, welchem die Landwirtschaft viel für den Ausbau der von Hiltner angegebenen Methode für die Praxis verdankt, äußert sich zu diesem Punkte folgendermaßen: „Bei der alten Methode der Samen- und Erdimpfung gingen die zugeführten Bakterien unter den ihnen oft nicht zusagenden Verhältnissen des Bodens, besonders aber durch schädigend wirkende Samenausscheidungsstoffe zugrunde, bevor sie in die Wurzeln eingedrungen waren und zur Knöllchenbildung

Veranlassung gegeben hatten. Eine Reihe von Erscheinungen wies darauf hin, daß während des Aufquellens der Samen in Wasser Stoffe ausgeschieden werden, welche schädigend auf die Knöllchenbakterien wirken, daß sich aber diese schädigende Wirkung in dem Maße vermindert, als die Keimung fortschreitet. Es stellten sich daher zahlreiche Mißerfolge ein, wenn die Samen sofort nach der Impfung ausgesät wurden und so die aus den Samenschalen beim Aufquellen sich ausscheidenden Stoffe zur Einwirkung auf die Knöllchenbakterien kommen und deren Infektionstüchtigkeit vermindern oder ganz aufheben konnten. Daher sollte man die Samen erst dann impfen, wenn sie schon aufgequollen sind und sich dem Keimungsstadium genähert haben. Die Durchführung einer solchen Maßregel wäre in der Praxis jedoch kaum möglich. Hiltner und sein Assistent Störmer konnten nun schon bei Versuchen des Jahres 1902 feststellen, daß Milch bei der direkten Samenimpfung der schädlichen Wirkung der Quellstoffe zu begegnen vermochte, und daß ein Zusatz von Pepton und Traubenzucker diese vorteilhafte Wirkung noch erhöht. Aus dieser Erfahrung heraus entstand dann ein Impfverfahren für die Praxis, das die Zugabe von Pepton und Traubenzucker (die in den erforderlichen Mengen jeder Bakterienkultur beigegeben werden) zu der Bakterienaufschwemmung in Wasser oder besser frischer Milch empfiehlt und nähere Angaben über die Ausführung der Impfung und Aussaat der geimpften Samen macht. Ganz neuerdings soll Hiltner an Stelle der Pepton-Traubenzuckermischung Humusstoffe seinen Impfkulturen zugeben und dadurch die erste Vermehrung dieser Kleinlebewesen im Boden noch günstiger beeinflussen."

Eine Bedingung für das Gelingen der Impfung ist natürlich, daß einmal wirklich die Bakterien im Boden fehlen, und nur ihr Fehlen und nicht etwa allgemeiner Nährstoffmangel der Grund für das Nichtgedeihen der Leguminosen ist. Dann müssen selbst verständlich auch die oben bereits gekennzeichneten, für das Gedeihen der Knöllchenbakterien und volles Entfalten ihrer Tätigkeit wichtigen Verhältnisse gegeben sein: Abwesenheit größerer Mengen gebundenen Stickstoffs im Boden, besonders Abwesenheit von Stickstoff in leicht löslicher Form, so daß die Pflanzen auf eigene Stickstoffsammlung angewiesen sind, und reiche Anwesenheit der für das Gedeihen von Wirtspflanzen und Knöllchenbakterien

in gleicher Weise höchst notwendigen Mineralstoffe, speziell Kali und Phosphorsäure.

Sind diese Bedingungen erfüllt, so tritt bei den neuen Nitraginkulturen ein Erfolg mit ziemlicher Sicherheit ein, und zwar mit größerer Sicherheit und durchschlagender als nach dem von Remy, Hartleb und anderen Autoren vorgeschlagenen Verfahren der Impfung mit Erde, mit Knöllchenextrakt usw., obwohl auch auf diese Weise Erfolge sich haben erzielen lassen.

Was man von diesen Verfahren nicht behaupten kann, ist jedenfalls bei dem Verfahren von Hiltner eingetreten: Daß es über das eigentliche Versuchsstadium schon hinaus ist und sich in wachsendem Maße des Interesses der großen Praxis erfreut, wenngleich es sich auch in der Praxis natürlich vorwiegend immer erst noch um Versuche, wenn auch in großem Maßstabe, handelt.

In welchem Maße Impfungen ausgeführt sind, mögen folgende Zahlen beweisen:

Von der Agrikultur-botanischen Anstalt in München wurden im Jahre 1905 abgegeben zur Benutzung

In Bayern	997	Kulturen
„ den übrigen deutschen Bundesstaaten	2071	„
„ England	378	„
„ Österreich-Ungarn	1220	„
„ Afrika	323	„

Im ganzen 5220 Kulturen wurden im genannten Jahre versandt. Schon im Jahre 1903 betrug bei 300 Feldversuchen der Satz der Versuche mit günstigem Ausfall 70 Proz. Rechnet man nur die in Bayern angestellten Versuche, so ergibt sich sogar das sehr günstige Verhältnis von 83 Proz. positiven Ausfalls.

Als ganz besonders gesichert ist nach dem heutigen Stande des Verfahrens die Impfung von Serradella zu betrachten, wo sich, der Ertrag der ungeimpften Parzelle = 100 gesetzt, Mehrerträge durch Impfung bis **8000** ergaben, also geradezu staunenswerte Erfolge.

Wenn man in Rechnung zieht, um welchen Gewinn von Stickstoffmengen aus der Luft es sich hier handelt, wird man die Bedeutung dieser ersten erfolgreichen Übertragung bodenbakteriologischer Forschungen auf die große Praxis nicht leicht zu hoch bewerten können. Remy meint, wenn es nur gelänge, auf den jährlich in Deutschland mit Leguminosen bestandenen

[illegible] Hektar [illegible] abhängig sein wird. Es läßt sich
[illegible] was sich [illegible] einerseits ein so ungünstiges sein kann,
[illegible] wenn nicht völlig vielleicht
[illegible] kg N [illegible] geht, daß es den ganzen Sommer
[illegible] andererseits so günstig, daß in wenig
[illegible] im vorigen Falle im ganzen Sommer
[illegible]
[illegible] Extremen schwanken die Grün-
[illegible] wirklich. Der rauhe Nordosten
[illegible] kurzen Sommer und rauhen Frühjahr
[illegible] durch [illegible] besonders heiteren und warmen Tagen
[illegible] zu [illegible] zählen, ein freudiges Wachs-
[illegible] vor allem aber ausgedehnte Dürre
[illegible] infolge schlechter Verteilung der
Der Vo[illegible], kommt zwar für den Anbau von
[illegible], daß [illegible] in Betracht. Aber diese Grün-
[illegible] zu ihrer Entwickelung die ganze
[illegible] ohnehin kurz genug ist. Es wird die
[illegible] früh angebaut, wenn sie einen wirklich
[illegible] liefern soll. Die Aussat findet im
[illegible] der Pflanzen im Spätsommer
[illegible] daran ist, daß hier das Plus an
[illegible] Substanz, welches durch die Grün-
IX. [illegible] wird, durch den Ausfall einer vollen
[illegible] Es ist selbstverständlich, daß
Zw[illegible] Gegenden in Betracht kommen,
prakti[illegible] möglich ist und der Bodenwert
Durch[illegible] In der Hinzelwirtschaft kommen
langw[illegible] derartig ist, daß er auf
Legum[illegible] während er zur Auf-
nötig[illegible] allerleichtester Sandboden
bereit[illegible] Wirtschaftshofe. Man
tiker [illegible] mit fortschreitender
berei[illegible] eintreten zu lassen. Die
Prakt[illegible] die Lupine, eventuell im
wei[illegible]
zu [illegible] schon früh zu dem
F[illegible] als Jahresfrucht an-
[illegible] Roggen, welcher

Neben den genannten Papilionaceen wurden damals freilich noch Pflanzen, wie Senf, Rübsen, Spörgel, ja selbst Roggen, der in Blüte getreten ist, zur Gründüngung benutzt [1]). Wir wissen heute, daß diese letzteren Pflanzen nur bereits vorhandenen gebundenen Stickstoff des Bodens festlegen, mit der Bindung des Stickstoffs selbst aber nicht das Geringste zu tun haben. Hier hat die Theorie helfend eingegriffen.

Bereits im Anfange des 19. Jahrhunderts wurde durch die Vermittelung Karl von Wulffens, der auf seinen langen Reisen in Südfrankreich den Lupinenbau eingehend studiert hatte, die Lupine als bevorzugte Gründüngungspflanze auf leichtem Boden benutzt. Von einer Gründüngung des schweren Bodens wollte man noch herzlich wenig wissen. Da die Lupine die Vorzüge hat, in verhältnismäßig kurzer Zeit große Massen Pflanzensubstanz mit hohem Stickstoffgehalt bei geringen Ansprüchen an den Boden zu erzeugen, ist sie in der Tat wie kaum eine zweite Pflanze zur Gründüngung geeignet, deren Wesen bekanntlich darin besteht, die voll entwickelten Pflanzenmassen unterzupflügen und dadurch den Boden an Stickstoff und an humusbildenden Stoffen zu bereichern. Die volle Bedeutung des Leguminosenanbaues bei Mineraldüngung mit kaliphosphathaltigen Düngemitteln erkannt zu haben, ist allerdings das Verdienst von Schultz auf Lupitz, dessen Worte den Eingang unserer ganzen Betrachtung bilden. Auf diesen Grundlagen bauen die heutigen Gründüngungssysteme auf, welche für viele Gegenden Deutschlands nicht nur zu Mitteln zur höheren Kultur des Bodens geworden sind, sondern vielfach ackerbauliche Nutzung überhaupt erst ermöglicht haben und damit von hoher volkswirtschaftlicher Bedeutung geworden sind.

Es kommt, wie schon betont, bei der Gründüngung darauf an, möglichst viel Pflanzenmasse mit möglichst viel der Luft entstammendem Stickstoff in möglichst kurzer Zeit zu erzeugen und diese Pflanzenmasse so in den Boden zu bringen, daß ihre Zersetzungsprodukte, vor allem der durch die Tätigkeit der nitrifizierenden Bakterien des Bodens aus den Eiweißstoffen bzw. ihren Zerfallsprodukten entstehende Salpeter der nachfolgenden Pflanze möglichst vollständig zugute kommt. Betrachtet man diese Forderungen genau, so leuchtet ein, daß ihre Erfüllung in

---

[1]) Trunz, Gründüngung.

allererster Linie vom Klima abhängig sein wird. Es läßt sich vorstellen, daß das Klima einerseits ein so ungünstiges sein kann, daß das Wachstum der Leguminosen, wenn nicht völlig stillsteht, so doch so langsam vor sich geht, daß es den ganzen Sommer in Anspruch nimmt, und andererseits so günstig, daß in wenig Wochen der gleiche Effekt wie im vorigen Falle im ganzen Sommer erzielt ist.

Zwischen diesen beiden Extremen schwanken die Gründüngungssysteme denn auch wirklich. Der rauhe Nordosten Deutschlands mit seinem kurzen Sommer und rauhen Frühjahr und Herbst, die nur an besonders heiteren und warmen Tagen, welche zu den größten Seltenheiten zählen, ein freudiges Wachstum von Pflanzen zulassen, vor allem aber ausgedehnte Dürre gegenüber extremer Nässe infolge schlechter Verteilung der Niederschläge mit sich bringen, kommt zwar für den Anbau von Gründüngungspflanzen noch in Betracht. Aber diese Gründüngungspflanzen verlangen zu ihrer Entwickelung die ganze Sommerperiode, welche ohnehin kurz genug ist. Es wird die Gründüngung alljährlich früh angebaut, wenn sie einen wirklich guten Ertrag an Pflanzenmasse liefern soll. Die Aussat findet im Frühjahr statt, das Unterpflügen der Pflanzen im Spätsommer oder Herbst. Das Bedenkliche daran ist, daß hier das Plus an Stickstoff und humusbildender Substanz, welches durch die Gründüngung unzweifelhaft erzielt wird, durch den Ausfall einer vollen Jahresernte bezahlt werden muß. Es ist selbstverständlich, daß für ein so extensives Verfahren nur Gegenden in Betracht kommen, in welchen eben nichts Besseres möglich ist und der Bodenwert ein noch nicht gar zu hoher ist. In der Einzelwirtschaft kommen dafür Schläge in Frage, deren Boden derartig ist, daß er auf andere Weise einen Ertrag nicht bringt, während er zur Aufforstung doch noch zu schade ist, also allerleichtester Sandboden bei gleichzeitiger ungünstiger Lage zum Wirtschaftshofe. Man wird bestrebt sein, die Jahre der Gründüngung mit fortschreitender Verbesserung des Bodens immer seltener eintreten zu lassen. Die Hauptfrucht dieser Verfahren ist heute die Lupine, eventuell im Gemenge mit Serradella.

Die Übelstände dieses Verfahrens haben schon früh zu dem Versuche geführt, die Stickstoffsammler zwar als Jahresfrucht anzubauen, aber unter einer Deckpflanze, meistens Roggen, welcher

noch einen Ertrag liefert, wenngleich derselbe naturgemäß durch die Zwischensaat der Leguminosen meistens nicht unerheblich verringert ist. Denn, da beide Pflanzen Nährstoffe brauchen, bleibt natürlich für jede weniger zur Verfügung, als wenn sie allein angebaut wäre. Für diesen Zweck kommen in erster Linie die Serradella, verschiedene Kleearten, wie gelber und schwedischer Klee, in letzter Linie auch noch Lupinen in Betracht. Zur Ausnutzung der Frühjahrsfeuchtigkeit zur Keimung muß die Aussaat möglichst frühzeitig erfolgen. Andererseits liegt dann aber wieder die Gefahr nahe, daß sich die Zwischenfrucht zu stark entwickelt und bei der Ernte der Hauptfrucht Schwierigkeiten macht, ja wohl gar die Deckfrucht nicht voll zur Entwickelung kommen läßt. Oft tritt auch das Gegenteil ein: Die Feuchtigkeit reicht zur Keimung der Saat nicht aus, und die ganze Zwischenfrucht läuft überhaupt nicht auf. Dies geht bei Lupinen sogar gewöhnlich so, da man sie wegen ihres schnellen Wachstums erst etwa vier Wochen vor der Reife der Hauptfrucht säen darf.

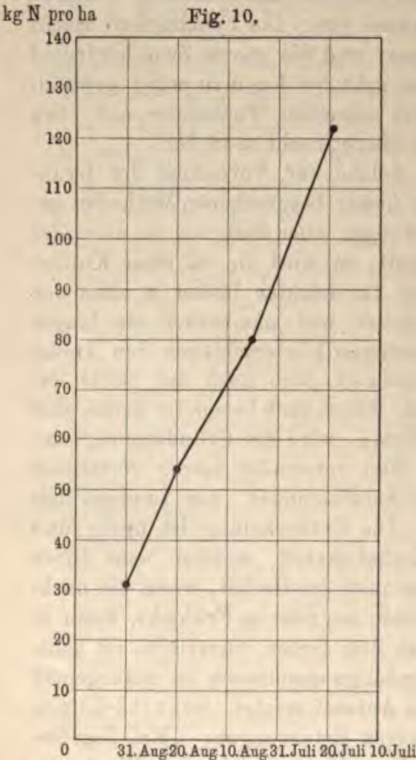
Ist für alle Gegenden, welche zur Vornahme der Gründüngung nach einer der beiden bisher besprochenen Methoden gezwungen sind, diese zwar ein häufiger, aber doch nur ein entweder teurer oder unsicherer Notbehelf, so wird sie zu einer Kulturmaßregel ersten Ranges speziell für leichten Boden in allen den Gegenden, wo ein günstiges Klima und namentlich ein langer warmer Herbst mit nicht zu geringen Niederschlägen den Anbau der Leguminosen als Stoppelsaat, also nach der Ernte der Hauptfrucht des Jahres gestattet. Sofort nach beendeter Ernte, oder aber auch noch während der Ernte, wird die Gründüngungssaat in Mineraldüngung gegeben. Man verwendet hierzu vorteilhaft ein Gemisch verschiedener Stickstoffsammler, wie Lupinen mit Erbsen, Bohnen, Wicken usw. Die Entwickelung ist üppig und der Gewinn an kostenlosem Luftstickstoff, welchen man durch Unterpflügen der Pflanzenmasse noch im Herbst, wenn die nachfolgende Frucht ein Wintergetreide ist, oder im Frühjahr, wenn es Hackfrucht oder Sommerung ist, dem Boden einverleibt, ist hoch.

Die Entwickelung der Gründüngungspflanzen ist naturgemäß eine um so bessere, je früher die Aussaat erfolgt. Schultz-Lupitz sagt auf Grund seiner langjährigen Erfahrungen: „Ein Tag Gewinn im Juli ist für den Erfolg mehr wert als eine Woche im August, und eine Woche im August so viel als der ganze Monat

September." Daß dies mehr ist als subjektive Anschauung, zeigen folgende von Vibrans für Wicken als Stoppelsaat ermittelte Zahlen. Es wurden auf den Hektar in Kilogramm erzeugt bzw. gebunden:

Tag der Saat	Tag des Unterpflügens	Pflanzenmasse	Stickstoff
19. Juli	26. Oktober	3380 kg	122 kg
5. August	26. "	1866 "	80 "
20. "	26. "	1164 "	54 "
31. "	26. "	664 "	31 "

Fig. 10.



N-Assimilation durch Leguminosen in Abhängigkeit von der Aussaatzeit.

Noch deutlicher als die Zahlen spricht nebenstehende kleine Zeichnung, welche die Ernte an Stickstoff als Funktion der Aussaatzeit veranschaulicht (rechtwinkl. Koordinaten: Aussaatdatum = Abszisse; Stickstoff = Ordinate).

Es ist oben verschiedentlich davon die Rede gewesen, daß die Differenzierung der Bakteroiden in ihrem Plasma erst eintritt, wenn der zur Verfügung stehende Bodenstickstoff verbraucht ist und daß erst dann die Stickstoffsammlung beginnt, während vorher die Knöllchenbakterien sich wie reine Parasiten verhalten. Es ergibt sich aus diesem Verhalten, daß auf besseren, schwereren Böden, welche von Natur einen höheren Gehalt an Stickstoff haben, die Assi-

milation später einsetzen wird, und daß demgemäß die hier zu erzielenden Stickstoffgewinne hinter dem, was sich durch Leguminosen auf leichtem, armem Boden mit ihrer aus ihrer Armut resultierenden schnellen Assimilation erreichen läßt, zurückbleiben werden. Beobachtungen, welche zu diesen Folgerungen im besten Einklang stehen, sind in der Tat gemacht worden. Die untenstehende Tabelle zeigt, daß wirklich die Stickstoffgewinne auf schweren Böden hinter denen auf leichtem Boden zurückbleiben, und zwar nicht nur bei derselben Pflanze. Auch der Anbau von Leguminosenarten, welche nur auf schwerem Boden üppig zu gedeihen vermögen, kann dieses Minus nicht aufwiegen.

Es wurden nach Schultz-Lupitz und Märcker gesammelt auf 1 ha in Kilogramm N:

Durch	Auf leichtem Boden	Durch	Auf schwerem Boden
Lathyrus clymenum .	174,86	Lupinen, Erbsen, Lathyrus	48,02
Erbsen	222,74	Lupinen, Erbsen, Wicken	81,50
Mengsaat	183,55	Pferdebohnen, Erbsen, Lupinen . . .	76,40
Lupinen, weiß . . .	182,57	Pferdebohnen, Wicken, Lupinen . . .	127,50
„ blau . . .	190,85	Pferdebohnen, Wicken, Peluschken .	131,30
„ gelb . . .	142,83	Pferdebohnen, Wicken, Viktoriaerbsen	151,20

Rein vom Standpunkte der Stickstoffsammlung betrachtet, läßt sich also, entsprechend den auf empirische Weise gewonnenen Anschauungen der alten Praktiker, in der Tat der leichte Boden als die Domäne der Gründüngung bezeichnen. Berücksichtigung der günstigen physikalischen Wirkungen einer Gründüngung auf die Struktur und vornehmlich den Wasserhaushalt des Bodens, worauf hier natürlich nicht eingegangen werden kann, lassen

allerdings in einzelnen Fällen auch auf schwerem Boden die Gründüngung als eine günstige Maßregel erscheinen. Zu bedenken ist freilich, daß auf dem schweren Boden die Zersetzung der N-haltigen Pflanzensubstanzen eine weitaus langsamere ist als auf dem leichten Boden, vielleicht auch eine weit weniger vollständige, und daß demgemäß der Anteil des zur Ausnutzung gelangenden Stickstoffs auch prozentisch noch ein geringerer ist als dort.

Schultz-Lupitz empfiehlt bereits eine schwache Impfung gewissermaßen der unterzupflügenden Gründüngung durch Stallmist, welcher eine reiche Flora von Verwesungsbakterien enthält, die die Gründüngung sehr schnell zersetzen. Diese Maßregel ist mit Erfolg zur Anwendung gekommen. Stets hat es sich auch bewährt, als Nachfrucht eine solche Pflanze anzubauen, welche in einer langen Vegetationsperiode imstande ist, den langsam verfügbar werdenden Stickstoff möglichst voll zu verwerten. Das sind in erster Linie die Hackfrüchte, also auf leichtem Boden die Kartoffel. In zweiter Linie kommen als Verwerter von Gründüngung Winterhalmfrüchte in Frage. In dritter und letzter Sommerhalmfrüchte, welch letztere mit ihrer kurzen Vegetationsperiode allerdings keine günstige Verwertung mehr ergeben. Namentlich ist dies natürlich der Fall, wo die Gründüngungspflanzen als Jahresfrucht angebaut werden müssen, wo also der Stickstoffgewinn durch Preisgabe einer ganzen Ernte erkauft ist. Die Rentabilitätsfrage zieht der Anwendung der Gründüngung trotz ihres unbestrittenen Wertes offenbar verhältnismäßig enge Grenzen, die um so weiter sind, je mehr es möglich ist, Gründüngung als Zwischen- oder Stoppelsaat anzubauen. Unter ganz günstigen klimatischen Verhältnissen kann sich die Gründüngung sogar zu einer relativ sehr intensiven wirtschaftlichen Maßregel gestalten, indem sie auf leichtem Boden eine Wirtschaft von Zufuhr von Stickstoff von außerhalb so gut wie unabhängig machen kann.

Eine ganz besonders wichtige Rolle ist die Gründüngung allem Anschein nach auch berufen, in der tropischen Landwirtschaft zu spielen, welche sich durch rationelle Fruchtfolgen mit Einschaltung von Leguminosen als Zwischenfrüchten, welche nur zum Unterpflügen dienen, vollkommen von künstlicher Stickstoffdüngung in vielen Fällen wird freimachen können. Hingewiesen

muß auch werden auf die Bedeutung der Leguminosenwälder unserer ostafrikanischen Kolonie, welche nach Busse den Boden in sehr hochwertigem, N-reichem Zustande hinterlassen, so daß ein solcher Boden einen ganz besonders günstigen Standpunkt für Neuaufforstung, vielleicht auch Ackerbau bietet, ein Umstand, der wohl zu berücksichtigen ist.

Es ist bisher nur angenommen, daß die Leguminosen in der Landwirtschaft die Rolle einer nur zur Bereicherung des Bodens an Stickstoff dienenden direkten Düngungspflanze spielen. Damit ist ihre Bedeutung für die Landwirtschaft aber keineswegs erschöpft. Die Leguminosen mit ihrem sehr hohen Stickstoffgehalt, der zumeist als Eiweiß in ihnen enthalten ist, sind eines der besten Futtermittel, und ihre Verwendung als solches ist älter als ihre Verwendung zu Gründüngungszwecken. Zum Belege mögen einige Zahlen dienen.

Es enthalten in 100 Teilen Trockensubstanz:

	Rohproteïn	Verdauliches Proteïn
Frisches Gras von guten Wiesen . .	16,8	12,5
Frischer Mais	8,2	4,1
Frischer junger Rotklee	25,3	20,0
Frische junge Luzerne	29,5	22,7

Diese wenigen Beispiele mögen genügen. Wenn auch nicht in so ausgesprochener Weise, ist doch bei allen Leguminosen diese Überlegenheit im Eiweißgehalt gegenüber den sonstigen Nutzpflanzen vorhanden und namentlich auch in ihrem Samen sehr stark ausgeprägt. Bei richtiger Düngung der Leguminosen mit Kali und phosphorsäurehaltigen Düngemitteln unter Vermeidung von Stickstoffgaben entstammt die Hauptmenge des in ihnen enthaltenen Eiweißstickstoffs mit Sicherheit der Atmosphäre, ist also eine Bereicherung des Stickstoffkapitals der Wirtschaft. Bei Verwendung der Futtermittel gelangt natürlich ein Teil dieses Stickstoffs im Tierkörper zum Ansatz, ein bedeutender Rest aber wandert im Dünger wieder in den Boden zurück, so der Produktionswirtschaft selbst wieder zugute kommend, wie es mit dem im Tierkörper festgelegten Stickstoff dann der Fall ist, wenn das betreffende Tier in der Wirtschaft selbst geschlachtet und verbraucht

wird. Im anderen Falle, des Verkaufs nach außen, ist dieser Anteil des Stickstoffs wohl der produzierenden Einzelwirtschaft, nicht aber der Gesamtwirtschaft des Landes, dem Gesamtkapital an gebundenem Stickstoff verloren, das auf jeden Fall in dieser Weise eine Bereicherung erfährt, bis schließlich irgendwo auch dieser Stickstoff wieder in Freiheit gesetzt wird.

Es gibt demnach Betriebe, um kurz zu resümieren, welche durch Anbau von Leguminosen zu Futter- und Gründüngungszwecken in der Lage sind, sich ihren Bedarf an gebundenem Stickstoff selbst zu produzieren. Sie sind unabhängig vom Zukauf von außen, für sie hat ein Versagen der Salpeterlager und damit der Hauptquelle des gebundenen Stickstoffs der Jetztzeit keine Bedeutung. Es ist aber nach obigem klar, daß solche Wirtschaften in der Minderzahl, ja sogar seltene Ausnahmen sein werden. Es ist sogar nicht einmal die Möglichkeit anzunehmen, daß jeder landwirtschaftliche Betrieb sich wenigstens einen kleinen, bescheidenen Zuschuß zu seinem Stickstoffkapital mit Hilfe der Leguminosen aus der Luft entnehmen kann. So muß die Fähigkeit der Leguminosen, mit Hilfe ihrer Knöllchenbakterien den freien Stickstoff zu binden, zwar bei Beurteilung der Frage nach dem Ersatz des verloren gegangenen Stickstoffs in weit höherem Grade in Rechnung gesetzt werden — wie hoch freilich, ist nicht genau zu schätzen, da die Verhältnisse gar zu verschieden sind — als die Fähigkeit der frei lebenden Bakterien zur Stickstoffsammlung. Eine Lösung des Problems der Stickstoffversorgung der gesamten Landwirtschaft bei Versiegen der Salpeterlager als Stickstoffquelle ist auch von dieser Seite nicht zu erwarten.

X. Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in der Technik.

1. Die Gewinnung des Luftstickstoffs mit Hilfe der Elektrizität.

Wozu die Natur nach dem heutigen Stande unseres Wissens nicht imstande ist: Aus ihren eigenen Mitteln den stetig sich steigernden Bedarf der Kulturmenschen an gebundenem Stickstoff

zu decken, dazu scheint die moderne Technik berufen zu sein, wenngleich sich nicht leugnen läßt, daß auch sie sich erst im Beginn des Weges befindet, und allzu optimistische Erwartungen gar leicht zu herben Enttäuschungen führen können.

Es ist bereits oben erwähnt, daß die Bindung von Stickstoff und Sauerstoff unter dem Einfluß des elektrischen Funkens, des Blitzes in der Natur, bereits im Jahre 1770 Priestley bekannt war. Ausführlich über diesen Vorgang berichtet hat im Jahre 1785 der große englische Physiker Cavendish in seiner Abhandlung: Experiments on air.

Die Forschungen von Crookes und vor allem Nernst in dem letzten Jahrzehnt des verflossenen Jahrhunderts, sowie von Muthmann und Hofer, welche durch größere Versuche die Bedingungen für günstige Ausbeute an Stickoxyd in der elektrischen Flamme ermittelten, haben für die schließliche technische Ausnutzung des Vorgangs eine gute theoretische Grundlage geliefert.

Der Prozeß der Bindung von Stickstoff an Sauerstoff verläuft nach Nernst auch bei gewöhnlicher Temperatur, wenn auch mit einer äußerst geringen Geschwindigkeit, entsprechend der Formel:

$$N_2 + O_2 \rightleftarrows 2\,NO,$$

wobei einer jeden Temperatur ein bestimmter Gleichgewichtszustand der miteinander reagierenden Stoffe entspricht. Eine Steigerung der Temperatur erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit ungemein. Nach Nernst enthält Luft von Atmosphärendruck die Hälfte des möglichen Stickoxyds:

Bei	1000°	absoluter	Temperatur	in	81,62 Jahren
„	1500°	„	„	„	1,26 Tagen
„	1900°	„	„	„	2,08 Minuten
„	2100°	„	„	„	5,06 Sekunden
„	2500°	„	„	„	$1,06 . 10^{-2}$ Sekunden
„	2900°	„	„	„	$3,45 . 10^{-5}$ „

Die Erreichung derartig hoher Temperaturen ermöglicht nur der elektrische Flammenbogen. Ob der Elektrizität als solcher bei der Bindung des Stickstoffs noch eine Rolle zukommt, oder ob sie nur durch die erzeugte hohe Temperatur wirkt, ist heute noch ungeklärt. Die bereits oben zitierte Beobachtung, daß dunkle elektrische Entladungen, welche den gewöhnlichen Ausgleich der Potentialdifferenz der verschiedenen Luftschichten bzw. zwischen Luft und Erde darstellen, zur Bindung von Stick-

stoff führen, läßt die Annahme einer spezifisch elektrischen Wirkung als recht gesichert erscheinen. Inwieweit freilich im Einzelfalle die Elektrizität als solche bei der Bindung des N eine Rolle spielt, und inwieweit nur die durch sie erzielte hohe Temperatur durch Beschleunigung des Reaktionsverlaufs wirkt, das zu entscheiden ist eine interessante Aufgabe der Zukunft.

Wenn auch nicht in ausgesprochener Weise, haben die verschiedenen bisher bekannten Verfahren zur Bindung des atmosphärischen Stickstoffs durch Elektrizität an beide Vorgänge gemeinsam angeknüpft, wobei sich bei praktischer Ausgestaltung der Verfahren das Schwergewicht teils auf die Seite der Elektrizität als solcher, teils auf die Seite der Wärme verschoben hat.

Die ersteren Verfahren haben praktische Bedeutung bisher nicht erlangt und seien daher nur ganz kurz besprochen.

Auf Grund der Beobachtung, daß die Menge der Stickoxyddämpfe, die in der Luft durch elektrische Entladungen entstehen, sich sehr stark mit steigender Frequenz des verwendeten Wechselstromes vermehrt, gelang es Kowalski und Moscicki, bei Steigerung der Periodenzahl eines Stromes von 0,2 Ampere auf 5000 bis 6000 pro Sekunde eine Ausbeute von 43,5 g Salpetersäure pro Kilowattstunde zu erzielen. „Diese Beobachtung wurde durch eine Stromverteilungsanlage für die Praxis verwertbar gemacht, und diese Anlage zusammen mit einem Kondensator bildet die Grundlage der Patente von Kowalski und Moscicki. Auf Betreiben der Erfinder entstand das »Initiativkomitee für die Herstellung von stickstoffhaltigen Produkten« in Freiburg (Schweiz), welches eine größere Versuchsanlage errichtete, in der das beschriebene Verfahren weiter ausgebildet werden sollte. Man arbeitete dort mit einem Wechselstrom von 50 000 Volt und einer Wechselzahl von 6000 bis 10 000 pro Sekunde, was durch Anwendung von Kondensatoren und Induktionsspulen ermöglicht wurde. Die günstigste Frequenz des Wechselstromes sollte 6000 bis 10 000 Wechsel in der Sekunde betragen und die Ausbeute an Stickstoff um so besser sein, je höher die Stromspannung war. Während z. B. eine Stromspannung von 25 000 Volt nur Flammenbogen von 8 cm Länge lieferte, sollten sich mit einer solchen von 75 000 Volt Flammenbogen von 48 cm Bogenlänge erzielen lassen.“ (Rabius: „Kritische Betrachtungen zur voraussichtlichen Lösung der N-Frage“.)

Der Betrieb hielt sich nicht lange, da die Apparate offenbar zu teuer arbeiteten. Es scheint sogar nach den Anschauungen v. Lepels, welcher gerade bei mäßiger Frequenz des Wechselstroms eine bessere N-Ausbeute konstatierte, und zwar bei kurzen Flammenstrecken, eine Ansicht, die mehrere andere Forscher teilen, daß dem ganzen Verfahren und speziell seinem späteren Ausbau eine fehlerhafte Anschauung zugrunde lag.

Immerhin hat auch die Hoffnung v. Lepels, welcher auf Grund seiner Laboratoriumsversuche, über welche seine Methode nie herausgekommen ist, mit mäßiger Wechselfrequenz und kurzer Flammenstrecke im feuchten Luftraume ein Verfahren geben wollte, das jedem Landwirt gestattete, sich seinen Bedarf an „N"-Dünger im Kleinbetriebe in der eigenen Wirtschaft selbst zu produzieren, sich ebensowenig erfüllt. Sie ist eine Utopie geblieben, an deren Verwirklichung zu arbeiten ein früher Tod den verdienstvollen Gelehrten gehindert hat.

Es sind oben die von Nernst ermittelten Zahlen für die Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit $N_2 + O_2 \rightleftarrows 2\,NO$ durch die Temperatur gegeben worden. Bei Auffassung des Vorgangs der Stickstoffbindung, als einzig dieser Reaktion nach Maßgabe der Temperatur folgend, mußte es als unbedingt erforderlich erscheinen, die Luft so schnell als möglich auf das Maximum der Temperatur zu erhitzen, um schnell das Maximum der Ausbeute an Stickoxyd zu erzielen.

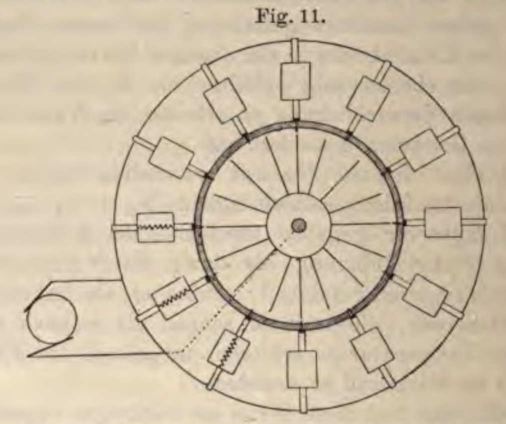
Kühlt sich eine auf diese Weise an Stickoxyd angereicherte Luft langsam ab, so stellt sich für jede Temperatur der der Formel entsprechende Gleichgewichtszustand ein, und schließlich sind bei etwa 500°, wo praktisch die Reaktionsgeschwindigkeit $= 0$ ist, wieder alle Stickoxyde verschwunden. Kühlt man dagegen die Luft plötzlich ab, dann vermag der Zerfall der Stickoxyde nicht zu folgen. Sie bleiben bestehen, und die abgekühlte Luft erleidet an ihnen keinen Verlust mehr.

Da dieses eigenartige Verhalten der Luft einmal feststand, mußte es Aufgabe sein, dem elektrischen Lichtbogen als der Wärmequelle eine Form zu geben, die möglichst große Luftmenge in möglichst kurzer Zeit auf die Temperatur des Bogens zu erhitzen und ebenso schnell auf ein für die Zersetzung der gebildeten Produkte unschädliches Temperaturmaß wieder abzukühlen gestattete.

Ein gewöhnlicher Lichtbogen von größerer Energie ist dick und voluminös und setzt dem Passieren einer entsprechend großen Luftmenge einen sehr großen Widerstand entgegen. Ein vorteilhaftes Arbeiten ist demnach mit einem gewöhnlichen Lichtbogen von vornherein ausgeschlossen.

In richtiger Erkenntnis dieses Umstandes haben Bradley und Lovejoi, auf deren Patente die „Atmospherical Products Company" zu Niagarafalls sich aufbaute, den Ausweg gewählt, einen derartigen Bogen von hoher Energie in zahllose kleinere zu zerteilen (Fig. 11). Es ist bekannt, daß die Atmospherical Pro-

Fig. 11.



Oxydationstrommel von Bradley und Lovejoi. (Nach Birkeland.)

ducts Company, welche mit Hilfe der enormen Kräfte des Niagarafalls dem Chilisalpeter ernste Konkurrenz zu machen hoffte, nach kurzer Tätigkeit den Betrieb im Sommer 1904 wieder eingestellt hat, und zwar wegen zu großer Kompliziertheit und Empfindlichkeit der Apparate, die zudem sehr kostspielig waren.

Diese bestehen der Hauptsache nach aus einer soliden Trommel, an deren innerer Seite eine große Anzahl von kurzen von Platinspitzen gebildeten Elektroden radial angebracht sind. Innerhalb dieser Trommel befindet sich ein kleinerer Zylinder, an dessen äußerer Seite ähnliche Platinspitzen sich befinden. Beim Drehen der Trommeln streichen die entsprechenden inneren und äußeren Platinspitzen dicht aneinander vorbei. Die beiden Trommeln sind

mit je einem Pole einer sehr hochgespannten Gleichstromquelle von 8000 bis 10 000 Volt Spannung verbunden. Wenn nun die Platinspitzen der inneren und äußeren Trommel aneinander vorbeistreichen, entwickeln sich zwischen ihnen Lichtbogen, die beim weiteren Drehen der Trommel schnell der Länge nach bis zum Abreißen ausgezogen werden, um an der nächsten Annäherungsstelle wieder neu zu entstehen. Die durch den Zwischenraum der Trommel hindurchgepreßte Luft hat also Gelegenheit, möglichst viele Lichtbogen mit möglichst kleinem Querschnitt bei größter möglicher Länge zu passieren, sich also schnellstens zu erhitzen, um durch die nicht mit dem Bogen in Berührung kommende Luft sofort wieder auf ein unschädliches Maß abgekühlt zu werden.

Immerhin erwies sich die Abkühlung als zu langsam, um nicht eine teilweise Zersetzung der Stickoxyde zuzulassen, während eine Beschleunigung des Luftstromes zur Verringerung der Bindung von Stickstoff führte. So war die Endausbeute nur 3 Proz. Stickoxyd.

Dabei war die zur Bewegung der Trommeln erforderliche Kraft sehr bedeutend, die Abnutzung der Apparate namentlich bei feuchter Luft und der daraus resultierenden Säurebildung eine sehr große, so daß das Produkt sich wesentlich teurer stellte als der Chilisalpeter, womit natürlich das Urteil über die Zukunft des Verfahrens gesprochen war.

Die „weiße Kohle“ schien als Helferin bei der Bindung des Stickstoffs zu versagen. Inzwischen war jedoch in Norwegen das Problem im Prinzip gelöst, gelöst wie bei vielen Erfindungen mit Hilfe des Zufalls.

Bei Experimenten mit Lichtbogen im magnetischen Felde, die einen ganz anderen als den schließlich erreichten Zweck verfolgten, beobachtete Professor Birkeland-Christiania die Entwickelung eines elektrischen Lichtbogens zu einer prachtvollen Lichtscheibe, welche bei Verwendung eines Gleichstromes von 40 Amp. und 600 Volt im Felde von 25 000 Kraftlinien auf den Quadratcentimeter einen Durchmesser von etwa 10 cm hatte und von einem durchdringenden Ton begleitet war. Die Flamme entwickelte sich ungefähr in Form einer halben Kreisscheibe auf nur einer Seite der Elektroden.

Bei Verwendung von hochgespannten Wechselströmen entsteht eine ähnliche dünne Flammenscheibe wie die von Gleichstrom erzeugte. Die Wechselstromflamme bildet aber eine ganze Kreisscheibe, und im Gegensatz zur Gleichstromflamme ist der erzeugte Ton unklarer. Die Periodenzahl des Wechselstromes übt ebenso wie die Stärke des verwendeten Elektromagneten einen bedeutenden Einfluß auf die Gestaltung der Flamme aus.

Professor Birkeland schreibt über die Erscheinung folgendes: „Um ein besseres Verständnis der Art und Natur dieser Flammenerscheinung zu gewinnen, erinnere man sich daran, daß ein vom Strom durchflossener Leiter in einem magnetischen Felde stets bestrebt ist, sich in Bewegung zu setzen. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur einen biegsamen, durch ein Gewicht straff gezogenen Leiter derart zwischen die Pole des Elektromagneten auszuspannen, daß der Leiter senkrecht zur Achse des Magneten zu stehen kommt.

„Der Leiter wird sich, je nach der Stromrichtung, aufwärts oder abwärts biegen, und zwar wird er mit Leichtigkeit um 20 cm nach beiden Seiten ausschlagen. Läßt man Wechselstrom durch den Leiter fließen, so wird derselbe zwischen beiden Magnetpolen hin und her schwingen.

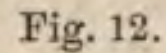
„In ähnlicher Weise verhält es sich mit einem Lichtbogen. Derselbe wird je nach der Stromrichtung auf- oder abwärts getrieben, und da ein Lichtbogen äußerst leicht beweglich ist, kann die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine sehr große werden, und zwar leicht auf 100 m pro Sekunde oder mehr gebracht werden.

„Diese Bewegung der Funkenstrecken läßt sich besonders deutlich in einem bis auf ein paar Centimeter luftverdünnten Raum beobachten, wenn man Entladungen aus einem großen Induktorium hindurchschickt.

„Unsere Fig. 12 veranschaulicht die in dem Ofen zur Verwendung kommende Flammenscheibe nach photographischer Aufnahme einer Flamme von etwa 250 Pferdekräften. Es wurde dabei Wechselstrom von 50 Perioden in der Sekunde bei einer Spannung von 5000 Volt verwendet.

„Auf Grundlage des oben Erwähnten wird die Erscheinung von Flammenscheiben nunmehr leicht erklärlich. An den nahe aneinander stehenden Elektrodenspitzen bildet sich zunächst

ein Lichtbogen, wodurch eine leicht bewegliche und biegsame Stromleitung in einem starken magnetischen Felde zustande gekommen ist. Der gebildete Lichtbogen bewegt sich alsdann senkrecht zu den Kraftlinien mit großer Geschwindigkeit, und die Fußpunkte des Lichtbogens rücken dabei von den Elektrodenspitzen zurück. Mit wachsender Länge des Lichtbogens steigt der elektrische Widerstand und damit auch die Spannung, bis dieselbe so groß wird, daß ein neuer Funke zwischen den Elektrodenspitzen überspringen kann. Da der zuletzt gebildete kurze Lichtbogen nur einen geringen Widerstand darbietet, so wird plötzlich die Spannung auf den Elektroden herabgesetzt und der


Fig. 12.



Flammenscheibe bei 250 HP.

äußere lange Lichtbogen erlischt. Es ist dabei vorausgesetzt, daß die Regulierung des Stromes durch einen mit der Flamme in Serie geschalteten Induktionswiderstand erfolgt. Bei Verwendung von Gleichstrom laufen sämtliche Lichtbogen nach derselben Seite, so daß dieselben die Gesamtgestalt einer halben Kreisscheibe annehmen. Je nach der Höhe des von der Flamme hervorgebrachten Tones kann man auf die Anzahl der Lichtbogen in der Sekunde schließen, und zwar ist es mit einem kräftigen Elektromagneten möglich, auf 1000 Lichtbogen in der Sekunde zu gelangen.

„Die Flamme erstreckt sich länger auf der positiven Elektrode entlang als auf der negativen.

„Die Fußpunkte der Lichtbogen erscheinen wie glühende Punkte auf den Elektroden. Auf der positiven Elektrode sind diese Lichtpunkte kleiner und liegen dicht zusammengedrängt, während sie auf der negativen Elektrode größer und weiter voneinander entfernt sind. Diese Lichtpunkte kommen dadurch zustande, daß die Funkenstrecken gewissermaßen auf der Elektrodenoberfläche anhaften, so daß deren Fußpunkte sich nur stoßweise durch die magnetischen Kräfte weiterschieben lassen. Die Art und Weise, wie sich die Lichtbogen biegen, läßt erkennen, daß dieselben an der negativen Elektrode fester haften als an der positiven, deshalb hat die Flamme, wie bereits erwähnt, auf der positiven Elektrode eine längere Ausdehnung als auf der negativen.

„Bei Verwendung von Wechselstrom entwickeln sich sämtliche Lichtbogen von positiver Stromrichtung nach einer und derselben Seite, und die von negativer Stromrichtung nach der entgegengesetzten Seite, vorausgesetzt, daß die Erregung des Magneten durch Gleichstrom erfolgt. Dabei gestaltet sich die Flamme zu einer kreisförmigen, leuchtenden Scheibe."

Es liegt auf der Hand, daß eine derartige Flamme ein vorzügliches Mittel zur Oxydation des Luftstickstoffs abgeben mußte, da in ihr alle erforderlichen Momente: hohe Temperatur, größtmögliche Fläche bei geringstem Querschnitt, die wir als wichtig für den ökonomischen Vorgang dieses Prozesses kennen gelernt haben, gegeben sind. Es war nur nötig, diese Flamme in einen geeigneten Ofen einzuschließen, dessen Konstruktion dem unermüdlichen Wirken von Birkeland und Eyde sehr bald gelang. Damit war die Grundlage der aufblühenden neuen Industrie gegeben.

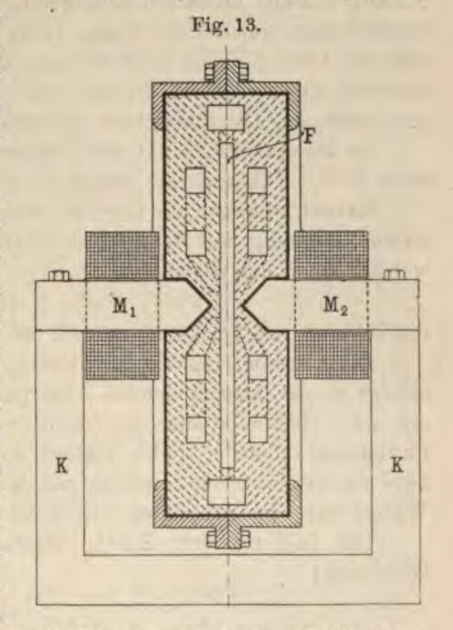
Es würde zu weit führen, an dieser Stelle auf die einzelnen Stadien der Vervollkommnung des Verfahrens von Birkeland und Eyde, speziell auf die Bewältigung der bei der weiteren Oxydation des Stickoxyds und der Absättigung der entstehenden Salpetersäure sich ergebenden großen Schwierigkeiten einzugehen. Es möge genügen, durch Vorführung des heute im Betriebe befindlichen Verfahrens, wie es bereits für den Welthandel zu arbeiten beginnt, den Beleg zu liefern, daß diese Schwierigkeiten glücklich überwunden sind. In welcher Weise, darüber gibt zahlenmäßig am besten folgende Zusammenstellung (nach Birkeland) Aufschluß:

Entwickelung der norwegischen Salpeterindustrie.

Zeit	Ort	Kraftverbrauch PS[1])	Beamte	Arbeiter
Juli 1903 . . .	Frognerkilens Fabrik, Christiania	25	2	2
Oktober 1903 .	Ankerlökken	150	4	10
September 1904	Vasmoen bei Arendal	1 000	6	20
Mai 1905 . . .	Notodden	2 500	4	35
Mai 1907 . . .	Svaelgfos	30 000	12	103

Die bereits im vollen Betriebe befindliche Fabrik zu Notodden verfügt über drei Öfen, in welchen normal je 500 bis 700 Kilowatt bzw. 700 bis 1000 PS zum Ausgleich kommen. Die Konstruktion der Öfen ist eine sehr einfache, wie die nebenstehende Fig. 13 veranschaulicht.

Fig. 13.



Die Flammenscheibe entwickelt sich zwischen wagerechten, aus kupfernen Röhren bestehenden Elektroden, welche ständig durch Wasserdurchströmung — übrigens eine große Quelle des Wärmeverlustes — gekühlt werden, senkrecht in den 10 cm im Querschnitt und 200 cm im Durchmesser haltenden Flammenraum (*F*). Die Seitenwände sind in Schamottesteinen ausgeführt, und durch sie erfolgt von beiden Seiten die Zuführung der Luft: 25 000 Liter pro Ofen und Minute. Das Magnetsystem besteht aus den beiden

1 PS = 736 Watt.

kräftigen Elektromagneten (M_1) und (M_2), deren Polspitzen einwärts gegen den Flammenraum gerichtet sind. Die Schließung des Magnetstromkreises erfolgt durch den dosenförmigen gußeisernen Kasten *K*, welcher den Ofen auswendig begrenzt.

Die beistehende Tafelfigur 14 zeigt eine Außenansicht der drei Öfen zu Notodden, aus welcher die Anordnung im Zusammenhange mit obigem Querschnitt genügend erhellt.

Es ist für kurze Zeit gelungen, pro Ofen bis 1500 PS zum Ausgleich zu bringen. Für Dauerbetrieb hat es sich jedoch vorteilhafter erwiesen, 700 bis 900 PS zu benutzen. Die nötige elektrische Energie wird von einer Kraftanlage am Tinfos geliefert.

Die aus jedem Ofen entströmende Luft, deren den Lichtbogen direkt passierender Anteil ($^1/_5$) rund 5 Proz. Stickoxyd, also die nach Nernsts Berechnungen theoretisch höchstmögliche Stickoxydmenge enthalten soll, gelangt in ein gemeinschaftliches Sammelrohr, welches die Gase, deren Temperatur beim Austritt aus dem Ofen 600 bis 700° beträgt, durch einen Dampferzeuger hindurchleitet, dessen Dampf zur Herstellung des Schlußproduktes, des Calciumnitrats, verwertet wird.

Im Dampfkessel sinkt die Temperatur des Gasgemisches auf etwa 200°. Kühlapparate setzen sie weiter schnell auf 50° herab.

Darauf gelangen die Gase in zwei große Oxydationsbehälter, welche inwendig mit feuerfestem Futter versehen sind, und in welchen nach der Gleichung

$$2\,nNO + n\,O_2 = 2\,(NO_2)_n$$

die Bildung von Stickstoffperoxyd vor sich geht.

Die Umwandlung des gebildeten Peroxyds in Salpetersäure erfolgt in der anschließenden Absorptionsanlage. Diese besteht aus zwei Reihen steinerner Türme von 2 × 2 × 10 m lichtem Rauminhalt. Jede Reihe besteht aus zwei Granittürmen und zwei Sandsteintürmen, welche mit Quarz gefüllt sind und mit Wasser bzw. der gebildeten Salpetersäure berieselt werden.

Die Bildung von HNO_3 verläuft dabei nach folgender Gleichung:

$$2\,NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2.$$

Eine weitere Phase stellt folgende Gleichung dar: $2\,HNO_2 = NO_2 + NO + H_2O$, d. h. es entstehen bei dieser Absorption auch niedrigere Stickstoffoxyde, die ihrerseits wieder erst oxydiert werden müssen.

Tafelfigur 14 zu S. 118.



Ofenraum in Notodden. (Nach Birkeland.)

Die dadurch entstehende Frachtverteuerung hat ...
minderwertigen Verfahren bei der Herstellung d...
zu ... gemacht, indem man ihn teilweise ...
lieferte, wobei sich ein Produkt von 13 Proz. N...
gleichfalls wenig hygroskopisch war. Welche...
endgültig den Düngermarkt und die Landwirt...
noch dahingestellt bleiben. Fest steht auf...
angestellten Versuche mit dem neuen Dün...
Chilisalpeter entschieden gleichwer...
stellen ist.

Technisch ist das Problem, einen ...
aus der Luft zu beschaffen, daher als ...
scheint der Badischen Anilin- und S...
in der Fachpresse noch eine weitere...
fahrens gelungen zu sein, zu dessen...
Kreise jetzt in Verbindung getret...
fahren im Großbetriebe gestalten ...
werden, den Salpeterbedarf der V...
sogar schon dem Chilisalpeter ...
machen, wie es bei den Eigen...
möglich ist, bleibt abzuwart...
billiger elektrischer Energi...
Ländern und noch dazu al...
Verkehr, wie z. B. die De...
Wasserkräften lieber er...
tiert werden, daß auch ...
ein Versuch, wenn ...
auch allerdings, d...
geführt, die Bre...
unterliegen kan...

Da die Absorption der Stickoxyde durch das Wasser bzw. die verdünnte Salpetersäure keine vollständige ist, erhält der fünfte Turm jeder Reihe eine Füllung von gewöhnlichen Ziegelsteinen und wird mit Kalkmilch berieselt, welche leicht die letzten Reste der Stickoxyde aufnimmt und dadurch in ein Gemisch von Calciumnitrat- und Calciumnitritlösung übergeht.

Die im Turmsystem gebildete Salpetersäure wird nach Erreichung einer Konzentration von 50 Proz. einer Reihe von offenen Granitkufen zugeführt und dort vorläufig aufgespeichert, soweit sie nicht zur Zersetzung des Calciumnitrat-nitritgemisches dient, aus welchem durch Zusatz von Salpetersäure die salpetrige Säure entfernt wird, um in ihren Zerfallsprodukten (s. oben) weiter oxydiert zu werden.

Die auf diese Weise erhaltene Lösung von reinem Calciumnitrat wird mit der Salpetersäure zusammen in Granitkufen durch Zusatz von gewöhnlichem Kalkstein in eine Lösung von neutralem Calciumnitrat verwandelt, die ihrerseits durch den Dampf aus dem Dampfkessel und direkte Heizung eingedampft wird.

Die Gewinnung des Schlußproduktes Calciumnitrat ist dabei auf verschiedene Weise möglich. Entweder wird die Eindampfung der Lauge bis zu einem Siedepunkte von 145° getrieben, was einem Konzentrationsgrade von 75 bis 80 Proz. Calciumnitrat bzw. 13,5 Proz. N entspricht. Die Masse wird in eiserne Trommeln gegossen, in welchen sie erstarrt. In dieser Form kommt sie dann in den Chemikalienhandel.

Für die Verwendung als künstliches Düngemittel wurde das Calciumnitrat zum Auskristallisieren gebracht. Neben der sehr guten Düngewirkung, die das Produkt in jedem Falle zeigte und die bei sehr kalkarmem Boden sogar noch die des Chilisalpeters übertraf, hatte die kristallinische Form aber auch sehr große Nachteile. Das Salz war zu hygroskopisch und ein gutes Ausstreuen so gut wie unmöglich.

In neuester Zeit ist man daher, um diesem Mißstande vorzubeugen, von der Produktion des Kalksalpeters in kristallinischer Form, entsprechend der Formel $Ca(NO_3)_2 + 4H_2O$, abgegangen und stellt unter Verwendung überschüssigen Kalkes die Verbindung $Ca(NO_3)(OH)$ her, welche diese schlechte Eigenschaft der übergroßen Hygroskopizität nicht besitzt. Der Stickstoffgehalt ist dabei natürlich ein etwas geringerer, 8 bis 9 Proz. N.

Die dadurch entstehende Frachtverteuerung hat man durch ein anderweitiges Verfahren bei der Herstellung des Kalksalpeters zu umgehen gesucht, indem man ihn teilweise schmolz und dann körnte, wobei sich ein Produkt von 13 Proz. N erzielen ließ, das gleichfalls wenig hygroskopisch war. Welche Form sich einmal endgültig den Düngermarkt und die Landwirtschaft erobern wird, muß dahingestellt bleiben. Fest steht auf Grund aller bisher angestellten Versuche mit dem neuen Düngemittel, daß es dem Chilisalpeter entschieden gleichwertig an die Seite zu stellen ist.

Technisch ist das Problem, einen Ersatz des Chilisalpeters aus der Luft zu beschaffen, daher als gelöst zu bezeichnen. Es scheint der Badischen Anilin- und Sodafabrik nach Andeutung in der Fachpresse noch eine weitere Vervollkommnung des Verfahrens gelungen zu sein, zu dessen Ausbeutung alle beteiligten Kreise jetzt in Verbindung getreten sind. Wie sich die Verfahren im Großbetriebe gestalten werden, ob sie in der Lage sein werden, den Salpeterbedarf der Welt einmal zu decken, vielleicht sogar schon dem Chilisalpeter bald erfolgreich Konkurrenz zu machen, wie es bei den Eigenschaften des Produktes theoretisch möglich ist, bleibt abzuwarten, da die Frage der Beschaffung billiger elektrischer Energie heute einstweilen nur in wenigen Ländern und noch dazu oft solchen mit noch wenig entwickeltem Verkehr, wie z. B. die Deutschen Kolonien mit großen nutzbaren Wasserkräften lösbar erscheint. So viel kann nur hier konstatiert werden, daß auch die Fabrik in Notodden immer noch als ein Versuch, wenn schon im großen, zu betrachten ist, ein Versuch allerdings, der höchstes Interesse verdient, da, wie ausgeführt, die Brauchbarkeit des Produktes keinem Zweifel mehr unterliegen kann.

2. Kalkstickstoff und Stickstoffkalk.

Bei Arbeiten über die Bildungsprozesse von Cyaniden zwecks Gewinnung von gelbem Blutlaugensalz machten Professor Frank und Dr. Caro die Entdeckung, daß der atmosphärische Stickstoff, wenn er über erhitzte Carbide der Erdalkalien geleitet wird, sich an diese anlagert. Das von den beiden Entdeckern zuerst verwandte Baryumcarbid verwandelte sich dadurch in Baryumcyan-

amid. Bei Verwendung von Calciumcarbid, das zu Zwecken der Acetylengaserzeugung von Spezialfabriken jetzt relativ billig und in großen Mengen hergestellt wird, erwies sich der Prozeß als gleichartig verlaufend, indem er zur Bildung von Calciumcyanamid führte, gleichzeitig aber als erheblich billiger, so daß das Calciumcarbid als eigentlicher Rohstoff der späteren Ausbildung des Verfahrens diente.

Der in Betracht kommende chemische Prozeß ist verhältnismäßig sehr einfach. Er folgt der Gleichung

$$CaC_2 + 2N = CaCN_2 + C$$

bei Verwendung von Carbid als Ausgangsmaterial oder, wie sofort zu besprechen, beim Ausgang von den Elementen selbst der Gleichung:

$$CaO + 2N + 2C = CaCN_2 + CO.$$

Dem Calciumcyanamid kommt also die Formel $CaCN_2$ zu, wohl entsprechend der Konstitution $N{\equiv}C{-}NCa$.

Da anfänglich bei Inangriffnahme des neuen Verfahrens — die zur Ausbeutung der Patente von Frank und Caro bestimmte „Cyanidgesellschaft m. b. H.“ bildete sich in Frankfurt a. M. am 29. Juli 1899 — die Preise für Calciumcarbid noch sehr hohe waren, wurde von der stark an der Cyanidgesellschaft beteiligten Firma Siemens und Halske die direkte Herstellung des Kalkstickstoffs aus dessen Elementen in Angriff genommen, also aus Stickstoff, Kalk und Kohle. Ein Gemenge der letzteren beiden Stoffe wurde in einem elektrischen Widerstandsofen auf eine Temperatur von etwa 2000° C erhitzt und darüber Stickstoff geleitet. Dieser Stickstoff wurde aus der Luft gewonnen, und zwar entweder nach dem Verfahren von Herrn Professor Linde aus verflüssigter Luft, oder in anderer Weise durch Überleiten von gewöhnlicher Luft über in Retorten befindliches glühendes Kupfer, wobei der Sauerstoff der Luft völlig absorbiert wird und der Stickstoff ziemlich rein übrig bleibt.

Es werden bei diesem Verfahren also zwei getrennte Produktionsprozesse zu einem verschmolzen und damit zwei Vorteile erreicht, welche bestehen

„1. in der Unabhängigkeit von dem Marktpreise des Carbids und der Ausscheidung des Fabrikations- und Händlergewinns bei dem früheren Bezuge desselben.

„2. in der Ersparnis einer nicht unbedeutenden Wärmemenge, da einmal die zur Wiedererwärmung des Carbids zwecks Aufnahme des Stickstoffs erforderliche Wärme in Fortfall kommt und außerdem zu dem neuen Prozeß eine geringere Wärmemenge nötig ist als zur Erzeugung des früheren Ausgangsproduktes, des Calciumcarbids". (Rabius.)

Dafür hat das auf diese Weise gewonnene Produkt, die sogenannte „Siemensmasse", aber nur 12 bis 15 Proz. N, und dies ist, wie weiter unten zu entwickeln, wohl der Grund gewesen, warum sich dieses Verfahren nicht eingeführt hat.

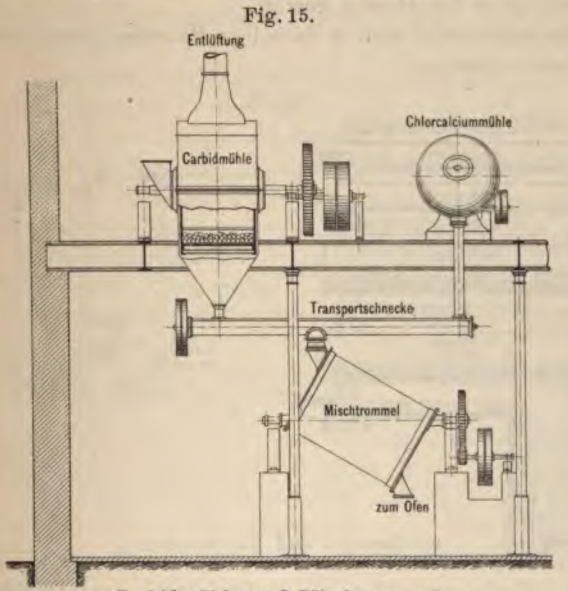
Bei dem eigentlichen Frank-Caroschen Verfahren bildet das Ausgangsmaterial das bereits fertige Calciumcarbid. Dieses wird in fein gepulverter Form in einer hermetisch geschlossenen Retorte auf Rot- bis Weißglut erhitzt, und in diesem Zustande wird Stickstoff darüber geleitet, der mit großer Begierde absorbiert wird. Der entstehende Kalkstickstoff wird direkt aus der Retorte gelassen, vermahlen und versandt.

Die anfänglich sehr kleine Versuchsanlage der Cyanidgesellschaft in Berlin — die Jahresproduktion betrug nur etwa 300 Tonnen — hat sich heute infolge Interessierung kapitalkräftiger Kreise und Verlegung der Anlagen nach Orten mit billiger Wasserkraft, speziell Italien, zu einem großen Unternehmen ausgewachsen. So soll z. B. die Leistungsfähigkeit der Anlage in Piano d'Orta sich bei einer verfügbaren Wasserkraft von 25 000 bis 26 000 PS auf 14 000 bis 18 000 tons jährlich belaufen. Weitere Projekte sind für die Schweiz und Dalmatien geplant und wird in neuester Zeit das Augenmerk auf die großen Moore als Lieferanten billiger Kraft gerichtet. Es kann in einer Abhandlung, wie der vorliegenden, nicht auf die geschäftliche Konstellation der Unternehmungen eingegangen werden und ebensowenig auf die eventuellen Aussichten in den einzelnen Fällen, selbst wenn die der Öffentlichkeit bekannten Daten ein solches Vorgehen gestatteten, was im übrigen nicht der Fall ist. Nur die Frage der Verwertung der Moore als Kraftquellen darf wohl dahin entschieden werden, daß die Moore nur so lange rentable Kraftquellen ergeben werden, als die Besitzer derselben den wahren Wert nicht kennen. Und ob dies lange der Fall sein wird, ist zum mindesten zweifelhaft.

Genau die gleichen Gesichtspunkte gelten für den „Stick-

stoffkalk“ der „Gesellschaft für Stickstoffdünger Westeregeln, G. m. b. H.“, welche nach dem Verfahren von Dr. E. Polzeniusz arbeitet. Dies Verfahren unterscheidet sich von dem der Cyanidgesellschaft dadurch, daß dem Carbid ein Zusatz von Chlorcalcium, und zwar in einer Menge von bis 10 Proz. gegeben wird, wodurch die Aufnahme des Stickstoffs schon bei einer wesentlich geringeren Temperatur, 700° C, vor sich gehen soll.

Fig. 15.



Carbidmühle und Mischtrommel.

„Über den Gang der Fabrikation geben die Fig. 15 und 16 Aufschluß [1]).

In die Azotierungsretorten kommt das fein gemahlene Calciumcarbidgemisch, und zwar in besonderen Vorrichtungen, auf deren Einzelheiten wir hier nicht eingehen können. Durch die Kupferretorten, die ebenfalls auf Rotglut erhitzt werden, preßt man vorgetrocknete Luft, deren Sauerstoff von den Kupferspänen festgehalten wird (Bildung von Kupferoxyd, CuO), während reines Stickstoffgas die Retorten verläßt und über das Carbid geleitet

[1]) Zeitschr. f. techn. Chemie 1908.

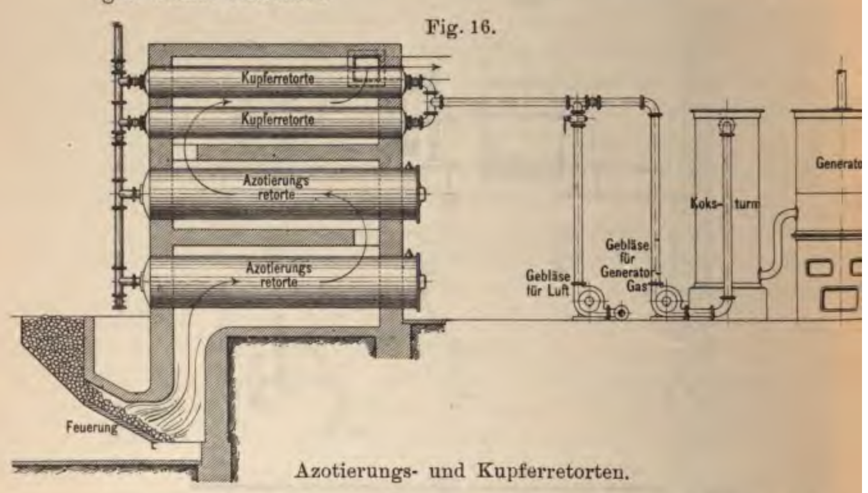
wird. Bei 650 bis 700° tritt die Umsetzung ein: das CaC_2 absorbiert den Stickstoff und es bildet sich die neue Verbindung $CaCN_2$, das Calciumcyanamid.

Der Inhalt der Retorten ist nach Verlauf der Reaktion eine schwarze, zusammengesinterte Masse.

Dieselbe muß erkalten, wird dann fein gemahlen und stellt nun das verkaufsfertige Produkt dar, welches in Säcken von 50 bzw. 100 kg in den Handel kommt.

Das Kupferoxyd wird in denselben Retorten durch Generatorgas wieder reduziert."

Fig. 16.



Azotierungs- und Kupferretorten.

Die Schlußprodukte beider Verfahren unterscheiden sich eigentlich nur durch den Namen und den übrigens in dieser Menge für landwirtschaftliche Zwecke gänzlich indifferenten Chlorgehalt, was nachstehende Tabelle lehrt. Es enthält:

	Stickstoffkalk	Kalkstickstoff
Stickstoff	20,0 Proz.	20—21 Proz.
Calcium	45,0 "	40—42 "
Kohlenstoff	19,5 "	17—18 "
Chlor	6,5 "	—
Verunreinigungen	9,0 "	19—23 "

Es ist klar, daß bei der Einfachheit des Verfahrens an sehr vielen Stellen die Möglichkeit zur Errichtung von Fabriken, sei es nun für Stickstoffkalk oder für Kalkstickstoff, jedenfalls für die technische Gewinnung von Stickstoff aus der Luft durch Anlagerung an Carbide gegeben ist. Die Frage scheint nur die zu sein, ob es möglich sein wird, diesen Stickstoff so billig zu gewinnen, daß er, was uns im vorliegenden Falle ganz besonders interessiert, der Landwirtschaft zugute kommen kann in Form eines Düngemittels.

Die Verwendung als Düngemittel war anfänglich jedenfalls gar nicht beabsichtigt. Erst später haben die Erfinder auch diese Seite der Ausnutzungsmöglichkeit sich schützen lassen.

Es steht nun fest, daß in der Form einer Cyanverbindung der Stickstoff für die höhere Pflanze nicht aufnehmbar ist. Es verwandelt sich aber das Cyanamid sehr schnell unter dem Einfluß von Mikroorganismen des Bodens in Ammoniak, und dieses wird bald nitrifiziert. Immerhin darf man selbst im günstigsten Falle von dem Kalkstickstoff nie eine so schnelle Wirkung wie von Chilisalpeter erwarten.

Aber nicht nur die Schnelligkeit der Düngewirkung läßt beim Kalkstickstoff zu wünschen übrig, sondern auch die Sicherheit. Neben Versuchen, welche eine Gleichheit der Wirkung des neuen Düngemittels, wenn auch nicht mit Chilisalpeter, so doch mit schwefelsaurem Ammoniak ergaben, sind sehr viele bekannt geworden, die nicht nur das Ausbleiben einer Stickstoffwirkung zeigen, sondern sogar direkte Schädigungen der gedüngten Pflanzen bemerken ließen. Fast durchweg war das der Fall auf stark humosem, zur Säure neigendem und auf sandigem Boden, wo gewöhnlich die Wirkung des Kalkstickstoffs alles zu wünschen übrig läßt. Die Neuheit des Düngemittels oder richtiger ausgedrückt, die mangelnde Erfahrung in der Anwendung werden sicherlich viel Schuld am Mißlingen in vielen Fällen tragen. Vermehrte Erfahrung wird sicherlich zu besseren Resultaten führen. Aber schon diese peinliche Aufmerksamkeit, welche jedenfalls zur erfolgreichen Anwendung unbedingt erforderlich zu sein scheint, ist nicht das, was der praktische Landwirt liebt.

Hinzu kommen noch andere Mängel. Erstlich enthält der Kalkstickstoff oftmals noch schädliche Verbindungen bzw. sie bilden sich daraus im Boden, welche direkt als Pflanzengifte

wirken, so z. B. Spuren von Dicyandiamid, welches auch technisch aus dem Kalkstickstoff hergestellt wird. Dann ist sehr lästig der penetrante Geruch des Düngemittels. Noch unangenehmer und, da leicht zu Augenentzündungen der Arbeiter führend, gefährlicher ist das starke Stäuben des schwarzen Pulvers, welches das Düngemittel vorstellt, das sich zudem aus der Düngerstreumaschine sehr schlecht streut.

Beim Mischen mit anderen Düngemitteln, was wohl das Ausstreuen erleichtern könnte, sind Verluste an Stickstoff nicht ausgeschlossen, welche ebenfalls eintreten, wenn der Kalkstickstoff nicht sofort nach dem Ausstreuen wenigstens leicht mit Erde bedeckt wird. Die auf diese Weise eintretenden Verluste an Stickstoff, und zwar in Form von Ammoniak, welches sich sehr schnell bei Feuchtigkeit entwickelt, sind unter Umständen recht erhebliche. Ähnliche Verluste treten auch beim Lagern in nicht genügend trockenen Räumen ein. In neuester Zeit scheinen die Produkte allerdings bereits einige dieser gerügten Eigenschaften abzulegen.

Man hat versucht, durch Umsetzung des Kalkstickstoffs in Ammoniak allen diesen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen. Die Möglichkeit ist gegeben, und das Verfahren: Behandlung mit überhitztem Wasserdampf, ist im Prinzip und in der Ausführung einfach genug. Trotzdem hat es sich noch nicht eingeführt, obwohl die Vorteile, ein wohlbekanntes und gut eingeführtes Düngemittel wie das schwefelsaure Ammoniak auf diese Weise gewinnen zu können, klar zutage liegen.

Schuld daran ist jedenfalls der Umstand, daß die Kosten schon der Herstellung von Kalkstickstoff so hohe sind, daß bei Abgabe des Produktes zu einem seiner Minderwirkung gegen Salpeter entsprechenden Preise von einer Rente kaum die Rede sein dürfte. Ein verhältnismäßig niedriger Preis aber ist erforderlich, wenn sich das Produkt mit seiner unzuverlässigen Wirkung und den Schwierigkeiten seiner Anwendung überhaupt einführen soll, einführen gegenüber Stoffen, wie der Kalksalpeter, welchem alle diese Nachteile nicht anhaften und welcher sich unter ebenso günstigen Produktionsbedingungen herstellen läßt.

Man darf gespannt sein, ob der jetzige, durchaus angemessene Preis von 1,12 ℳ pro kg N im Kalkstickstoff und Stickstoffkalk ein dauernder ist. Die Aufnahme zahlreicher Neben- bzw. Ver-

edelungsprodukte des Kalkstickstoffs durch die zurzeit im Betriebe und Bau befindlichen Fabriken läßt die Annahme zu, daß auch die Produzenten sich über die Sachlage trotz intensiver Propaganda keiner Täuschung hingeben und daß unter dem Druck der Rentabilitätsfrage sehr bald die Gewinnung von Präparaten für die Technik und nicht die Landwirtschaft bei der Produktion von Kalkstickstoff im Vordergrund stehen wird. In neuester Zeit scheinen die Fabriken die Überführung in Ammoniak energischer ins Auge zu fassen, welche Wendung auch nur zu begrüßen ist. Es wird vielleicht sogar gegenüber der immer wichtiger werdenden Konkurrenz des Kalksalpeters im Laufe der nächsten Jahre der Kalkstickstoff als solcher wieder vom Düngemittelmarkt verschwinden, ehe er so recht eigentlich überhaupt darauf erschienen ist, um seinen Veredelungsprodukten das Feld zu räumen. Immerhin bilden auch die Verfahren der Calciumcyanamidproduktion einen mit Freude zu begrüßenden Schritt vorwärts auf dem Wege zur Deckung des Stickstoffbedarfs der Kulturwelt aus der Atmosphäre, obwohl die Hoffnungen aus Gründen finanzieller Natur nicht gar zu hoch geschraubt werden sollten.

Schlußbetrachtung.

Ohne den großen Bedarf der Industrie für gebundenen Stickstoff zu verkennen, muß man nach dem heutigen wirtschaftlichen Stande unzweifelhaft die Landwirtschaft für den größten Konsumenten an gebundenem Stickstoff ansehen, als den am schwierigsten zu befriedigenden auf jeden Fall, da die Landwirtschaft eine Preissteigerung des gebundenen Stickstoffs unter allen Umständen sehr viel schwerer erträgt als die Industrie, aus Gründen, die sich aus der Natur der ganzen Sache von selbst ergeben. So sind denn auch die vorstehenden Ausführungen ganz vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus gegeben, mit dem steten Rückblick: Welchen Nutzen hat die Landwirtschaft, und erst indirekt, die ganze Volkswirtschaft, oder vielleicht richtiger Weltwirtschaft von den einzelnen besprochenen Wegen der Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik zu erwarten? Obwohl am Schlusse jeden Abschnittes die Perspektiven kurz

angedeutet sind, sei hier in wenigen Worten noch eine Generalübersicht, gewissermaßen als Nachwort, gegeben.

Es steht fest, daß von Jahr zu Jahr der Bedarf an gebundenem Stickstoff steigt und daß in absehbarer Zeit trotz lauter und mannigfacher Proteste mit einem Versiegen der Salpeterlager Chiles zu rechnen ist. Auf ein Auffinden weiterer ergiebiger Lagerstätten dieses für Industrie und vor allem Landwirtschaft unentbehrlichen Stoffes ist wohl kaum zu hoffen.

Es existieren in der Natur verschiedene Wege, den freien Stickstoff der Atmosphäre, zu dessen Vermehrung aus dem Fonds an gebundenem Stickstoff außerdem verschiedene unabwendbare Prozesse beitragen, wieder einzufangen. Auf eine Nutzbarmachung dieser Wege für Industrie und in allererster Linie Landwirtschaft ist nicht zu rechnen. Es ist nicht möglich, die Bindung des Stickstoffs durch elektrische Vorgänge in der Atmosphäre zu steigern und auszunutzen, nicht möglich, die N-bindende Tätigkeit verschiedener Mikroorganismen, welche teils frei, teils in Symbiose mit grünen Pflanzen leben, allgemein auszubeuten, wenngleich lokal in dieser Hinsicht sich speziell durch Anbau von Leguminosen viel erreichen läßt und einzelne Landwirtschaftsbetriebe von der allgemeinen Stickstoffkalamität so gut wie ganz unabhängig gemacht werden können.

So ist eine Hilfe in der Tat nur von der Technik zu erwarten, die zwei Wege zur Nutzbarmachung des Luftstickstoffs heute kennt. Davon dürfte der eine, die Bindung des Stickstoffs unter Verwendung von Carbiden, eine größere Bedeutung wohl nur für die Industrie erlangen, da das erzielte Produkt sich zu allgemeiner und umfangreicher Anwendung als Düngemittel in der heutigen Form nur auf mittleren, tätigen Böden zu eignen scheint, wie sie nicht überall zu finden sind.

Der andere Weg, die Bindung des Stickstoffs durch die Elektrizität, hat ein Produkt geliefert, das Landwirtschaft und Industrie in gleicher Weise willkommen ist, da es einen vollwertigen Ersatz des Chilisalpeters darstellt. Insofern ist das Problem der Stickstoffversorgung gelöst, und fraglich ist dabei nur, ob es möglich ist, die nötigen enormen Energiemengen aufzutreiben, welche zur Bindung von Stickstoffmassen, wie sie Landwirtschaft und Industrie gebrauchen, erforderlich sind. Aus ökonomischen Gründen können die Energiequellen, von einigen wenigen Aus-

nahmen abgesehen — und es gilt dies auch für das Carbidverfahren mit — nur Wasserkräfte sein. Es liegen unzweifelhaft viele Millionen Pferdestärken in Form von Wasserkraft auf der Erde heute noch brach, nicht allein in fernen Erdteilen, die noch wenig erschlossen sind und erst der Zukunft angehören, sondern auch in Europa selbst. Wäre es möglich, sie nur für den einen Zweck dienstbar zu machen, dann wäre an eine Deckung des Stickstoffbedarfs der Erde aus der Luft nach den bisher bekannten Verfahren zu denken. Das aber ist ein Ding der Unmöglichkeit, da viele andere Industrien in gleicher, fortschreitender Weise auf die Verwendung der billigen Kraftquellen angewiesen sind und demgemäß als Konkurrenten auftreten müssen.

Wir stehen erst im Beginn der Entwickelung. Wer im Kampfe um die Energie siegen wird, ist nicht abzusehen; nicht abzusehen ist, in welcher Weise die einzelnen Verfahren sich weiter vervollkommnen werden, wenn es überhaupt zu einer Vervollkommnung kommt und nicht die Wissenschaft ein neues Verfahren findet, das, allen Vorgängern überlegen, diese selbst wertlos macht. Groß ist der Fortschritt in der Bindung des Luftstickstoffs, welchen wir zu verzeichnen haben. Verscheucht aber ist das schon in absehbarer Zeit drohende Gespenst des Stickstoffmangels der Kulturmenschheit noch keineswegs, und noch immer bleibt Sir William Crookes Behauptung zu Recht bestehen, daß das Stickstoffproblem die entscheidende Lebensfrage der künftigen Generation sei. Ein vielversprechender Anfang zu einer Lösung muß allerdings zugestanden werden.

SACHREGISTER.

W.

Z.



10000. 5. 08.

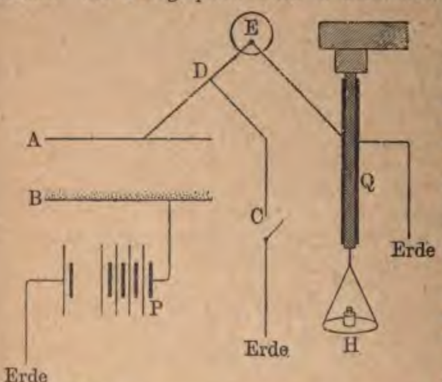
Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien.

I. Heft.

Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen von **Mme. S. Curie.** Übersetzt und mit Literatur-Ergänzungen versehen von W. Kaufmann. 3. Auflage. Mit 14 Abbildungen. Preis geh. M. 3.—, geb. in Lnwd. M. 3.80.

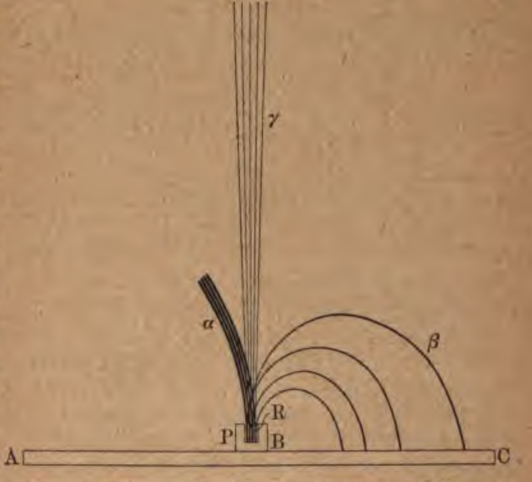
Urteile der Presse.

Zeitschrift für angewandte Chemie: Die unter dem Titel „Die Wissenschaft" erscheinende und unter besonderer Mitwirkung von Prof. Dr. Eilhard Wiedemann begründete Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien wird auch von den Chemikern freudig begrüßt werden. Die Monographien sollen in übersichtlicher Darstellung begrenzte Gebiete sämtlicher Zweige der Naturwissenschaft behandeln; auch Biographien von großen Gelehrten und historische Darstellungen einzelner Zeiträume sind ins Auge gefaßt. Ein solches Unternehmen, in der angestrebten Weise völlig durchgeführt, erleichtert insbesondere den Einblick in Nebengebiete und wird jedem, der über die wichtigeren Fortschritte der Wissenschaft unterrichtet sein will, nach einer oder mehreren Richtungen hin etwas bringen. Den Reigen der Sammlung konnte kein Thema würdiger eröffnen als die der berufenen Feder der Frau Curie entstammende Beschreibung der radioaktiven Stoffe und ihrer Eigenschaften. Das Werk, welches die von W. Kaufmann ins Deutsche übertragene Dissertation der Verfn. ist, umfaßt klar und übersichtlich alle sich auf Radioaktivität beziehenden Erscheinungen, und wir sind entschieden dem Übersetzer für seine sicher erfolgreiche Bemühung zu großem Dank verpflichtet. Das Buch enthält natürlich in erster Linie und ausführlicher die eigenen Forschungsergebnisse der Frau Curie; es werden aber außerdem die Untersuchungen und Entdeckungen anderer Forscher auf-



gezählt und besprochen, so daß wir in ihm zurzeit wohl die wissenschaftlich vollständigste und empfehlenswerteste Beschreibung der so rätselhaften Tatsachen haben. Das große reichhaltige Material ist in fünf Kapitel eingeteilt. Das erste ist der Radioaktivität des Urans und Thors und den radioaktiven Materialien gewidmet; im zweiten kommen die neuen radioaktiven Substanzen, besonders das Radium, seine Abscheidung und seine Eigenschaften zur Besprechung; im dritten wird die Strahlung der neuen radioaktiven Substanzen behandelt und im vierten die induzierte Radioaktivität. Im letzten wird die Natur und Ursache der Erscheinungen der Radioaktivität erörtert. Ein zuverlässiges, vom Übersetzer weitergeführtes Literaturverzeichnis bildet den Schluß.

Vierteljahrsberichte des Wiener Vereins für Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts: Mit den Untersuchungen der Madame Curie über radioaktive Substanzen ist diese Sammlung auf das glücklichste begonnen worden. Die Entdeckung eines neuen Wissenszweiges, der Physiker u. Chemiker in gleicher Weise interessiert, wird hier von den Entdeckern selbst geschildert. — Nach einer historischen Einleitung wird die Methode zur Messung der Strahlungsintensität der Uran- und Thorverbindungen und verschiedener radioaktiver Mineralien mittels Messung der Leitfähigkeit der Luft unter der Einwirkung dieser Substanzen beschrieben. Bei der Messung der Pechblende, des Chalkoliths und des Autunits wurde die auffallende Tatsache entdeckt, daß diese Mineralien in höherem Grade radioaktiv sind als Uran und Thor selbst. Es lag die Vermutung nahe, daß in den erwähnten Mineralien hochradioaktive Substanzen enthalten seien und die nächste Aufgabe der Curies war nun die Isolierung dieser Substanzen. Es wurden drei gefunden: das Polonium, das Radium und das Aktinium; vollständig gelang nur die Isolierung der Radiumsalze, deren Spektrum sich auch mit zunehmender Reinheit auffallend von jenen des Baryums unterschied, während Polonium dasselbe Spektrum lieferte wie die Wismutverbindungen, aus denen es abgeschieden wurde. Ebenso gelang es, das Atomgewicht des Radiums (225) zu bestimmen, nach welchem das Radium in der Mendelejeffschen Tabelle unter dem Baryum in der Kolumne der Calciumgruppe und in die Zeile, welche Uran und Thor enthält, gehört.



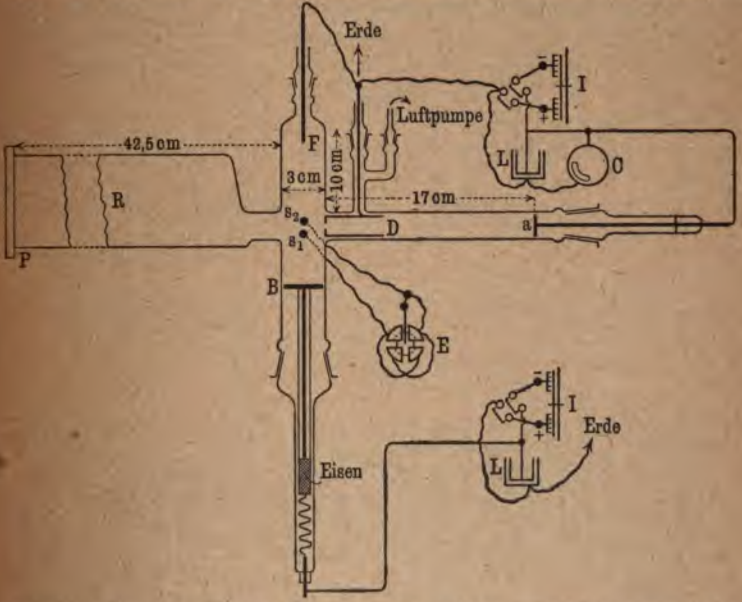
Daß die Entdecker des Radiums selber uns die Geschichte ihrer Forschungen erzählen, gewährt der Abhandlung einen ganz besonderen Reiz.

Die Übersetzung ist von Herrn Dr. Walter Kaufmann, der vor kurzem für seine Forschungen auf dem Gebiete der Elektronentheorie einen Preis von der kaiserl. Akademie zu Wien erhalten hat.

Hand der Eigenschaften der Kathodenstrahlen zu schildern, wie man zu dem Begriff des „Elektrons" gekommen ist und was man darunter versteht.

Wie alle Monographien, welche in die unter dem Titel „Die Wissenschaft" erscheinende Sammlung aufgenommen werden sollen, ist auch das vorliegende Bändchen nach Form und Inhalt für weitere Kreise bestimmt. Es werden daher nur die allerelementarsten Kenntnisse in der Physik vorausgesetzt.

Allgemeines Literaturblatt: Die Firma Vieweg hat es unter besonderer Mitwirkung Prof. Dr. E. Wiedemanns unternommen, Monographien über die aktuellsten Themen der modernen Naturwissenschaften zu verlegen.



Dieses höchst verdienstvolle Unternehmen, welches tatsächlich einem dringenden Bedürfnisse entspricht, weil gerade die neuesten Errungenschaften auf den Gebieten der Naturerkenntnis nur auf mühseligem Wege aus zahlreichen Zeitschriften zu entnehmen sind, bringt als 2. Heft aus höchst berufener Feder eine Darstellung der Untersuchungen an Kathodenstrahlen; die Aufklärungen über das scheinbar so rätselhafte Verhalten der radioaktiven Substanzen sind vom Verfasser in ausnehmend interessanter und instruktiver Weise dargelegt und dürfen wohl das weiteste Interesse für sich in Anspruch nehmen. Die atomistische Theorie der Elektrizität, welche endlich verspricht, einen Einblick in das Wesen der elektrischen Erscheinungen zu geben und die Frage zu beantworten, deren Lösung Jahrhunderte lang unmöglich schien: Was ist Elektrizität? basiert auf der Untersuchung der Kathodenstrahlen. Das für weitere Kreise verständlich geschriebene Buch kann wärmstens empfohlen werden. Die Behandlung des Themas ist einfach und gründlich; besonders ist auch die Beigabe einer großen Anzahl höchst klarer, schematischer Zeichnungen zu loben, welche die textliche Klarheit des Buches noch bedeutend erhöhen.

---

schen Vorstellungen und der modernen Elektronentheorie darstellen und dabei gleichzeitig des berühmten Verfassers eigene Anschauungen über den Aufbau der Atome entwickeln, wobei die radioaktiven Elemente eine besonders eingehende Besprechung erfahren. Die Ausführungen enthalten nur vereinzelte mathematische Ableitungen und können jedem Studierenden empfohlen werden.

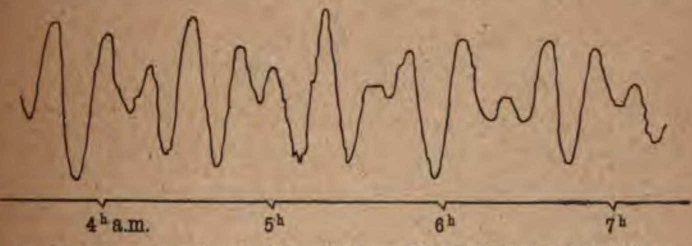
Chemiker-Zeitung: . . . Ich bin der Zustimmung aller Fachgenossen sicher, wenn ich behaupte, daß zu der Entwickelung der Elektronik, dieser neuen Disziplin der Physik, kaum jemand mehr beigetragen hat als J. J. Thomson durch seine zahlreichen experimentellen und theoretischen Untersuchungen, und nicht minder durch sein zusammenfassendes Werk Conduction of Electricity through Gases. Es ist deshalb mit besonderer Freude zu begrüßen, daß dieser bahnbrechende Forscher es unternommen hat, seine „Ansichten über die Natur der Elektrizität, über die Vorgänge, welche im elektrischen Felde stattfinden,



und über den Zusammenhang zwischen elektrischer und gewöhnlicher Materie" in einer so anschaulichen und anregenden Weise darzulegen, daß jeder Naturwissenschaftler, nicht nur der Physiker, das Buch verstehen kann und durch die Lektüre reichen Genuß und Gewinn haben wird. Populär im gewöhnlichen Sinne des Wortes ist die Schrift allerdings nicht gehalten, d. h. sie ist keine Kaffee-Lektüre, gibt nicht nur einen Überblick über die gewonnenen Resultate, sondern versucht in den ersten 3 Kapiteln: „Darstellung des elektrischen Feldes durch Kraftlinien, Elektrizität und gebundene Maße, Wirkungen der Beschleunigungen der Faradayschen Röhren", den Leser mit der Faraday-Maxwellschen Kraftlinienvorstellung und der ihr von J. J. Thomson gegebenen Erweiterung bekannt zu machen. Für den Physiker, speziell für den Lehrer der Physik, eine Fundgrube anschaulicher Darstellungen und Gedankengänge. Für den Nichtphysiker eine Anleitung, nicht mühelos, aber doch ohne das schwere Rüstzeug der höheren Mathematik, sich einen Einblick zu verschaffen in die Überlegungen, welche aus den Untersuchungen über Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen und Radioaktivität zu dem Begriffe des Elektrons, des Atoms der Elektrizität, geführt haben.

Die einzelnen Teile der Physik (Mechanik, Akustik, Optik und Thermik) werden so durchgenommen, daß man einerseits den Eindruck hat, daß die Seen praktische Beispiele für die Gesetze der Physik bieten, und daß sie andererseits zu tieferem Eindringen in gewisse Fragen der Physik Anlaß geben. Der Verfasser geht dabei so vor, daß er zuerst die physikalischen Gesetze in überaus leicht verständlicher Weise erläutert und sie dann auf die Seen anwendet. Nicht unerwähnt darf bleiben, daß die vorliegende Arbeit die erste zusammenfassende auf diesem Gebiete ist. Obwohl die behandelten Fragen schon lange die Naturforscher beschäftigten, muß man die wissenschaftliche Seekunde doch noch jung nennen; erst Forel hat sie hauptsächlich durch seine Arbeiten am Genfer See ins Leben gerufen. Freiherr von Aufsess hat schon als Studierender eingehende Studien besonders an bayerischen Seen gemacht, deren Ergebnisse er in seiner Doktordissertation: „Über die Farbe der Seen" niedergelegt hat.

In den „physikalischen Eigenschaften" werden aber alle einschlägigen Fragen behandelt, und zwar möglichst eingehend und gründlich, auch wird hier der theoretische Teil, soweit als notwendig, berücksichtigt.



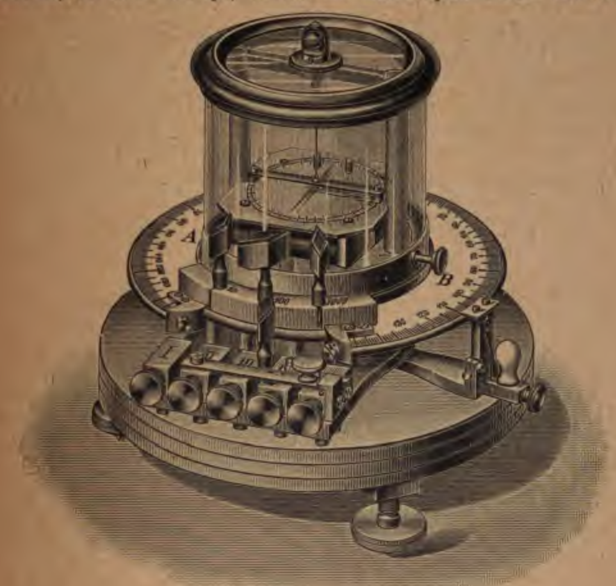
Interferenz von Grund- und Oberschwingung (Kempfenhausener Limnimeter, 25. August 1900).

Die vielen Literaturnachweise machen die vorliegende Arbeit noch wertvoller; die hübsche Ausstattung durch die zahlreichen Figuren fördert das Verständnis; die vielseitigen Gesichtspunkte, von welchen der Gegenstand betrachtet wird, sind geeignet, das Interesse für dieses Thema besonders zu heben.

Himmel und Erde: Wir haben schon einmal Gelegenheit genommen, unsere Leser nachdrücklich auf die unter dem Gesamttitel „Die Wissenschaft" unter der Leitung von E. Wiedemann (Erlangen) bei Vieweg erscheinende Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien hinzuweisen. Geistig sehr vornehm gehalten, klar in der Diktion, verfaßt von den ersten Gelehrten, wenden sich die Monographien (vortrefflich ausgestattete Heftchen von etwa 150 Seiten Umfang) an die Wissenschaftler, sowie an jeden Gebildeten. — Dem ersten Hefte von S. Curie über die radioaktiven Stoffe ist rasch eine Reihe anderer gefolgt. Was der Physiker vom weitverbreitetsten Stoffe auf unserem Erdball, dem Wasser, zu sagen weiß, ist fast lückenlos in dem Aufsessschen Buche zusammengefaßt worden. Wir erfahren etwas über die Wellenbewegung an der Oberfläche, die Strömungen, Fortpflanzung des Schalles im Wasser, über die Durchsichtigkeit und die thermischen Verhältnisse. Besonders eingehend behandelt der Verfasser auf Grund eigener Versuche die Durchsichtigkeit und Farbe der Gebirgsseen, wobei er die Frage entscheidet, ob letztere chemischer oder physikalischer Art ist. Wir empfehlen das Buch besonders allen denen, die es lieben, ihre Erholung in einer liebevollen Betrachtung der Natur zu suchen.

---

zu bringen und durch die Darstellung des Werdeganges auf einem Gebiete der Physik einmal den modernen Fachmann vor Überschätzung der modernen gegenüber den älteren Arbeiten zu bewahren, sodann aber ihm vor Wiederholung eines früher bereits durchgearbeiteten Gedankenganges zu behüten. Sie behandelt in einem ersten Abschnitt die Meßinstrumente. In diesem schildert sie von Strommessern die frühesten Galvanometer, die Spiegelgalvanometer, die Galvanometer mit direkter Ablesung und absoluten Angaben, die Schalttafelinstrumente, die Galvanoskope, endlich die Elektrodynamometer und Wechsel-



strommesser. Daran schließt sie die Betrachtung der Spannungsmesser, der Widerstandsapparate und Selbstinduktionsskalen, die der Apparate zur Messung magnetischer Eigenschaften, der elektrischen Wärmemesser, Elektrizitätszähler, der elektrischen Registrierapparate und Geschwindigkeitsmesser. Der zweite Abschnitt ist der Beschreibung der Meßmethoden gewidmet. Nach Darstellung der Methoden der Strom-, Spannungs- und Widerstandsmessung behandelt er die zur Bestimmung von Selbstinduktion und der Wechselstrommessung. Ein Rückblick macht darauf aufmerksam, daß, während vor einem halben Jahrhundert der Gelehrte die Apparate erdachte, gegenwärtig der Techniker sich ihres Baues, ihrer Weiterentwickelung bis zur Angabe neuer Prinzipien bemächtigt hat. Erschöpfend ist die Darstellung nicht und will sie nicht sein, weil die Schrift gelesen, aber nicht zum Nachschlagen benutzt werden will. Man wird dem um so unbedingter zustimmen können, als Verf. mehr als jeder andere in der Lage war, eine sachgemäße Auswahl des Mitzuteilenden vorzunehmen, da er ja selbst in hervorragender Weise an der Entwickelung der elektrischen Meßapparate und Meßmethoden beteiligt gewesen ist. So wird das Studium dieses Buches ebenso für den Mann der Wissenschaft, wie den der Technik in hohem Maße lohnend sein.

Hochschul-Nachrichten: Im 6. Heft der Wissenschaft sucht der Verfasser den Leser über die Haupteigenschaften und Erzeugungsweisen der elektrischen Schwingungen als der Grundlage für die drahtlose Telegraphie zu orientieren. Es gelingt ihm dies, indem er, von den wichtigsten Entdeckungen Faradays anfangend bis in die neueste Zeit herein, vor dem Leser die grundlegenden Experimente und Anschauungen vorüberziehen läßt, wobei er seine Ausführungen durch zahlreiche sehr übersichtliche schematische Figuren und Abbildungen von experimentellen Anordnungen unterstützt. Die wohlgelungene Darstellung eignet sich nicht bloß für den gebildeten Laien zur Einführung in dieses interessante Gebiet, sondern gibt auch insbesondere den Lehrern der Physik für die Erläuterungen der elektrischen Wellenerscheinungen manch wertvollen Fingerzeig.

Elektrotechnische Zeitschrift: Der Verfasser der vorliegenden Schrift stellt sich die Aufgabe, in gemeinverständlicher Darstellung in den Werdegang und die Grundanschauungen der modernen Elektrodynamik, mit Ausnahme der Elektronentheorie, einzuführen. Der Inhalt umfaßt: Die Entstehungsweise und Kritik der alten Fernwirkungstheorien, die Verdrängung derselben durch die Vorstellungen von Faraday über die Mitwirkung der Medien bei der Übertragung der Kräfte, die Ergänzungen durch Maxwell, die Versuche von Hertz und die weitere Entwickelung auf diesem Gebiete bis zur drahtlosen Telegraphie, die indessen nur kurz gestreift wird. Die Behandlung des Stoffes ist mustergültig und läßt das Buch als recht geeignet erscheinen, dem oben genannten Zwecke zu dienen.



Himmel und Erde: Der Verfasser setzt seinem vortrefflichen Buche die Goetheschen Worte voran: „Die Menge fragt bei jeder neuen bedeutenden Erscheinung, was sie nütze, und sie hat nicht unrecht; denn sie kann bloß durch den Nutzen den Wert einer Sache gewahr werden.“ Diesem Bedürfnisse und Recht des weiteren Leserkreises ist Rechnung getragen durch die eingehende Behandlung der Funkentelegraphie als dem Knotenpunkte, in dem die klassischen Arbeiten von Faraday, Maxwell und Hertz für die Praxis zusammenlaufen. Was die genannten großen Forscher ihren Zeitgenossen und der Nachwelt an neuen Anschauungen, kühnster Logik und experimentellen Beweisen zu bieten wußten, das möge man im Geitlerschen Buche selbst nachlesen. Wir empfehlen auch diesen Band der „Wissenschaft“ allen, die es verschmähen, ein mit Fleiß und Sachkenntnis geschriebenes Werk nervös zu durchblättern.


m
d
m
o
o
u
u
l
v
v
l
x
h
x
i
i
b
y
f
o
f
y
b
x
i
i
x
h
l
v
u
u
v
l
o
o
m
d
m

Komplikationen; Beobachtungen an flächenreichen Zonen; Raumgitter und Punktsysteme; Einfluß des Lösungsmittels.) — VI. Chemische Kristallographie. (Isomorphie; Morphotropie; P. v. Groths neuere Auffassung hierüber; Polymorphie.) — VII. Anhang. (Kristallklassen, Namen und Symbole der Formen nach P. v. Groths physikalischer Kristallographie.)

Die Auswahl aus dem umfangreichen Stoffe der Kristallographie war sicher schwer zu treffen. Trotzdem weist das Buch bei nicht zu großem Umfange eine solche Reichhaltigkeit und Vollständigkeit auf, daß es nicht nur für den Physiker und Chemiker übergenug bringt, sondern auch dem Fachmann eine nicht unwillkommene Gabe sein dürfte. Dem Werke ist eine freundliche Aufnahme zu wünschen.

Zeitschrift für Elektrochemie: Die Kristallographie ist eine geistvolle und anregende Wissenschaft nicht nur für den Mineralogen, der sie am häufigsten braucht, sondern auch für den Chemiker und Physiker, und es ist bedauerlich, daß die letzteren häufig weniger von ihr wissen als recht ist. Gerade an den Chemiker und Physiker in erster Reihe wendet sich das vorliegende Buch, und bei der Verbreitung, welche sich die Viewegsche Sammlung „Die Wissenschaft" in der kurzen Zeit ihres Bestehens erworben hat, ist der Schrift eine größere Leserzahl gewiß. Ein für einen weiteren Leserkreis bestimmtes Buch stellt dem Verf. eine schwierige Aufgabe; es muß so klar und exakt geschrieben sein, daß es vor der genauesten Kritik besteht, und doch so leicht und anregend, daß es mit Interesse auch von denen gelesen werden kann, die keine besonderen Spezialkenntnisse besitzen. Diese Aufgabe ist von dem Verfasser trefflich gelöst worden; besonders möchte ich auf das dritte Kapitel (Ätz- und Lösungserscheinungen, optische und geometrische Anomalien) und das letzte (Chemische Kristallographie) hinweisen. Die Ableitung der Kristallklassen im zweiten Kapitel ist streng und korrekt, aber vielleicht etwas wenig anschaulich gegeben. Als einen Vorzug will ich auch hervorheben, daß nicht nur die Ergebnisse der bisherigen Forschung zusammengestellt sind, sondern daß die Darstellung den denkenden Leser auch die vielen Lücken klar erkennen läßt, welche in den Grundlagen einer Theorie des „kristallisierten Aggregatszustandes" noch vorhanden sind. Die vorliegende Monographie ist eine erfreuliche Erscheinung auf dem Büchermarkte, die mit Interesse und Nutzen gelesen werden kann.



Zeitschrift für Naturwissenschaft: Der Inhalt der vorliegenden Schrift ist ein sehr reicher; alle neueren Resultate der Kristallographie sind in derselben besprochen: insbesondere die jetzt gebräuchlichen Arten der Projektion, die Kristallklassen und ihre Symmetrie-Elemente, die zweikreisigen Goniometer, die Zirkularpolarisation der zweiachsigen Kristalle, anomale Ätzfiguren, Translationsflächen als Zwillingsebenen, Gesetz der Komplikation, Untersuchungen über das Wachstum der Kristalle, logische Achsen und endlich Beziehungen zwischen der chemischen Formel und dem Kristallsysteme. Alle Forscher, denen es nicht möglich gewesen ist, die Entwickelung der Kristallographie Schritt für Schritt zu verfolgen, werden hier auf das beste orientiert.

Urteile der Fachpresse.

Chemiker-Zeitung: Eine Schrift von Werner über theoretische Fragen der unorganischen Chemie ist von vornherein des weitestgehenden Interesses sicher. Waren es doch seine Theorien über die Metallammoniaksalze, die seinerzeit Licht in den Wirrwarr komplexer, unorganischer Salze brachten und diesen Stiefkindern der Chemie die Aufmerksamkeit weiterer chemischer Kreise zuzogen. Theorien, die ihre Berechtigung noch weiter dadurch erwiesen, daß sie ihren Schöpfer und andere Unorganiker in zahlreichen Experimentaluntersuchungen zu einer Erweiterung unserer Kenntnisse von diesen merkwürdigen Stoffen veranlaßten, wodurch rückwirkend die Theorie wieder gestützt und erweitert wurde. Unzweifelhaft verdanken wir Werner einen der größten Fortschritte, den die unorganische Chemie seit langem gemacht hat. Der Wunsch nach einer zusammenfassenden Darstellung der neuen Lehre war in weiten Kreisen rege; daß Werner sie selbst geliefert hat, muß mit großem Danke aufgenommen werden. Der vorliegende Band (Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien. 8. Heft), umfaßt drei, ihrer Reihenfolge nach an Umfang steigende Abschnitte. Den Anfang macht eine kurze Darstellung der neueren Anschauungen über die Systematik der Elemente; hier wird das Wernersche Periodensystem näher besprochen. Es folgt ein Abschnitt über die Verbindungen erster Ordnung und die Lehre von der Wertigkeit, in dem namentlich die Schwierigkeiten größeres Interesse erwecken, die sich der Lehre von den Einzelvalenzen und der Fixierung der Einzelvalenzen an bestimmte Punkte des Atoms und in bestimmte Richtungen vom Atome weg entgegenstellen. Statt der Einzelvalenzen ist zweckmäßiger die Gesamtaffinität des Atoms als Ausgangspunkt für die weiteren Betrachtungen zu wählen. Darauf [illegible] bringt der dritte, etwa Dreiviertel des Werkes umfassende Hauptteil die Lehre von den Verbindungen höherer Ordnung und die Lehre von der Koordina[illegible], also das Gebiet, auf dem das Schwergewicht der Wernerschen Forschungen ruht. Hier werden die Anlagerungsverbindungen [illegible] die Lehre von der [illegible] nationszahl, die Einlagerungsverbindungen [illegible] Lehre von [illegible] dieser [illegible] unorganischer Stoffe behandelt. Auf Ein[illegible]

eingegangen werden; ich kann nur sagen, daß die Darstellung auch demjenigen, der die betreffenden Publikationen bei ihrem Erscheinen regelmäßig verfolgt hat, Neues bietet, und daß ihre Lektüre einen hohen Genuß bereitet.

Chemische Zeitschrift: Wie kein anderer ist A. Werner berufen, die modernen Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie einem größeren Leserkreise vorzuführen, hat er doch in unermüdlicher Arbeit das Beste selbst dazu geliefert. Die Konstitution der anorganischen Verbindungen ist in den meisten Fällen noch unaufgeklärt; es ist notwendig, zu ihrem Verständnis die Valenzlehre zu erweitern. Werner zeigt die Gesichtspunkte, welche heute für die strukturelle und räumliche Betrachtung des Molekülbaues anorganischer Verbindungen von Bedeutung sind, ohne dabei zu verschweigen, daß die neuen Vorstellungen nur Bilder sind, die auf Grund weiterer Erkenntnis durch bessere Bilder ersetzt werden können. Eingeteilt ist das Werk in drei Abschnitte: 1. Die Elemente und ihre Systematik; 2. Die Verbindungen erster Ordnung und die Lehre von der Wertigkeit; 3. Die Verbindungen höherer Ordnung und die Lehre von der Koordination. Das eingehende Studium dieses hochinteressanten und fesselnd geschriebenen Buches sei allen Chemikern warm ans Herz gelegt.

Naturwissenschaftliche Rundschau: Alle diese Bedenken und Einwendungen sprechen nicht gegen, sondern deutlich für die große Bedeutung des Wernerschen Buches, das mit seinem überreichen Inhalt zu immer neuen Betrachtungen Anlaß geben wird. Zudem hat die „Wernersche Hypothese" auf die anorganische Chemie des letzten Jahrzehntes einen so großen Einfluß gehabt, daß die Kenntnis derselben nicht nur für jeden Chemiker, sondern auch für jeden Naturwissenschaftler, der die Entwickelung der Chemie verfolgen will, als eine Notwendigkeit bezeichnet werden muß.

Jahrbuch der Elektrochemie: Mit großer Freude wird jeder Chemiker das Erscheinen des achten Heftes dieser Sammlung von A. Werner, Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie, begrüßen. Verfasser hat bekanntlich durch seine systematischen Untersuchungen auf dem Gebiete der anorganischen Konstitutionslehre sozusagen eine neue Wissenschaft begründet und ihre Grundlagen in einer sehr großen Anzahl von Originalarbeiten niedergelegt, die zwar leicht zugänglich waren, aber wegen ihres Umfanges und ihrer großen Zahl doch nicht so leicht verständlich. Daß er nun hier eine zusammenfassende Darstellung seiner Arbeiten gegeben hat, wird allerseits mit Freude begrüßt werden. Das Buch bildet einen bemerkenswerten Fortschritt auf dem Gebiete der anorganischen Systematik und seine Lektüre ist nicht nur anregend, sondern wegen des vielen darin zusammengetragenen Tatsachenmaterials auch sehr lehrreich.

Zeitschrift für angewandte Chemie: . . . Es ist bekanntlich das große Verdienst A. Werners, zuerst auf die meist vergeblichen Bemühungen der Anhänger der Valenztheorie in der anorganischen Chemie hingewiesen und durch Schaffung des Koordinationsbegriffes eine theoretische Grundlage für die Lehre von der Konstitution zahlreicher anorganischer Verbindungsklassen gegeben zu haben. Die Grundzüge dieser Theorie, die auch neuerdings auf die organische Chemie befruchtend zu wirken beginnt, hat Werner in dem oben genannten Buche niedergelegt, das zweifellos allerseits als ein Ereignis von großer Bedeutung angesehen werden wird. . . . Ein weiterer Hinweis auf den wichtigen Inhalt dieses Buches mag unterbleiben, und es sei zum Schluß der berechtigte Wunsch geäußert, daß sich dieses Buch recht bald in der Bibliothek eines jeden Chemikers befinden möge.

Daß für den Mediziner und Zoologen eine solche Zusammenstellung von Wichtigkeit ist, bedarf keiner Erörterung. Aber auch weitere Kreise, insbesondere Chemiker, werden das Buch mit größtem Nutzen verwerten können. Die Mehrzahl der tierischen Gifte ist ihrer chemischen Natur nach noch unbekannt und es steht zu erwarten, daß der Arzneischatz aus der chemischen Erforschung dieser Gifte noch manche Bereicherung erfahren wird. Als einen Hauptvorzug dieses Buches möchte ich die außerordentlich anregende Darstellungsweise hervorheben. Es handelt sich natürlich um eine Registrierung zahlreicher, in den verschiedensten Werken verstreuter Beobachtungen. Bei der kritischen Verwertung des in staunenswerter Fülle vom Verfasser gesammelten Materials kam demselben die eigene Erfahrung an den verschiedensten tierischen Giften (Kröten-, Salamander-, Fäulnisgift) zu Hilfe. Auch sind neue, bisher nicht veröffentlichte eigene Beobachtungen mehrfach eingefügt (z. B. über die chemische Natur des Cobragiftes). Diese Fülle von tatsächlichem Material ist dem Leser, hauptsächlich wohl durch die klare, knappe Darstellungsweise, so mundgerecht gemacht, daß die Lektüre des Buches nicht nur belehrend ist, sondern auch ein wirkliches Vergnügen gewährt.

Wiener klinische Wochenschrift: Die Berechtigung und der mögliche Nutzen einer monographischen Bearbeitung gerade dieses Teiles des pharmakologisch-toxikologischen Lehrmateriales leitet sich aus dem Mangel kritischer Tatsachensichtung und darum klarer Fragestellungen auf diesem Gebiete ab, dessen Erforschung von eminent praktischer Bedeutung ist. Fallen doch noch immer alljährlich tausende und abertausende von Menschen der Vergiftung infolge Schlangenbisses zum Opfer. Die eben gekennzeichnete Lücke hat der Verfasser, dem wir sehr gute eigene Arbeiten auf diesem Felde verdanken, in trefflicher Weise ausgefüllt. Dank seiner gründlichen methodischen und kritischen Schulung verstand er das Legendäre, das sich gerade hier von Alters her breit gemacht hat, vom Sichergestellten zu sondern und letzteres so anzuordnen, daß sich die Probleme von selbst ergeben. Das Kapitel über die Schlangengifte, das entsprechend seiner Bedeutung am eingehendsten behandelt ist, enthält auch interessante, sonst noch nicht veröffentlichte Angaben des Verfassers über die chemische Natur des Schlangengiftes. Die Literaturgaben sind reichlich und genau, was man heutzutage wohl besonders hervorheben darf. Der Ausdruck des flott geschriebenen Heftes ist überall präzis und knapp.

Zeitschrift für den physikalisch-chemischen Unterricht: Eine kurze Besprechung dieser Arbeit rechtfertigt sich hier nur vom Standpunkt des chemisch-biologischen Unterrichts aus. Es finden sich darin die im Tierreich so zahlreich vorhandenen Giftstoffe von den Wirbeltieren bis hin zu den Cölenteraten aufs eingehendste und unter genauer Angabe der übrigen wissenschaftlichen Literatur behandelt. Mit besonderer Sorgfalt sind die Schlangenbisse und ihre Therapie besprochen. (Danach kommt dem Alkohol z. B. auch beim Biß der Kreuzotter eine Heilwirkung nicht zu, dagegen hat neuerdings die Serumtherapie in Indien wirkungsvoll eingesetzt.) Auch die Aufzeichnungen über den in den Nebennieren des Menschen enthaltenen Giftstoff Adrenalin oder Epinephrin, über den Giftsporn von Ornithorhynchus, die Giftfestigkeit des Igels, die verschiedenen Wirkungen der Kanthariden, Muraena helena, Miesmuschel u. a. sind sehr interessant gehalten. Überhaupt hat es der Verfasser verstanden, seinen Stoff außerordentlich fesselnd zu gestalten, wobei die vielen historischen Angaben gleichfalls mitsprechen, so daß die Anschaffung des Buches für die Zwecke des chemisch-biologischen Unterrichts durchaus zu empfehlen ist.

---

eignet. Er hat sich dabei weiter die doppelte Aufgabe gestellt: einesteils zu zeigen, daß die von Fechner in Anlehnung an das gewöhnliche Fehlergesetz begründeten Maßmethoden unzureichend sind, und anderenteils den Weg anzugeben, auf dem man ohne Voraussetzung eines bestimmten Fehlergesetzes zu einer allen Bedürfnissen der experimentellen Psychologie genügenden Methode der Maß- und Abhängigkeitsbestimmung gelangt. An den Ausfall dieses letzteren Versuches knüpft sich in wissenschaftlicher Beziehung das Hauptinteresse an der Abhandlung des Verfassers.

Physikalische Zeitschrift: Wer den Wunsch hegt, einen Überblick über das Rüstzeug der messenden Psychologie zu gewinnen, dem wird das vorliegende zehnte Heft der Viewegschen Sammlung „Die Wissenschaft" sehr willkommen sein. Das Buch wird sich bald einen größeren Freundeskreis erwerben.

Südwestdeutsche Schulblätter: Dr. Lipps stellt sich in seiner Schrift die Aufgabe, sowohl die auf Fechner zurückgehenden psychophysischen Maßmethoden als unzureichend darzulegen, als auch zu zeigen, wie man ohne Voraussetzung eines bestimmten Fehlergesetzes zu einer Methode der Maß- und Abhängigkeitsbestimmung gelangen kann, die allen Bedürfnissen der Experimentalpsychologie gerecht werden kann. Selbstverständlich setzt das Werk eine umfassende Kenntnis der höheren Mathematik voraus, wird daher vielleicht bei flüchtiger Durchsicht manchen Psychologie treibenden Leser etwas abschrecken. Die Furcht ist unbegründet. Der Verf. pflegt die mathematisch erhaltenen Resultate ausführlich und klar zu interpretieren. Die dargebotenen zahlreichen Tabellen und Kurvenzüge erleichtern das Studium des interessanten Buches ganz besonders. Das reichhaltige Literaturverzeichnis ergänzt die Arbeit sehr glücklich.

Hochschul-Nachrichten: Mit wahrer Hochachtung muß der eindringende Ernst dieser Untersuchung der noch jungen aber jugendlich regsamen Wissenschaft der Psychophysik erfüllen, die hier von ihren ersten, noch hinter E. H. Weber und G. Th. Fechner zurückliegenden Anfängen bis zu W. Wundt und anderen Zeitgenossen kritisch verfolgt wird. Die Fachgenossen und berufsmäßigen Jünger der Wissenschaft selbst braucht man gewiß nicht erst auf die Arbeit des jungen Doktors Lipps aufmerksam zu machen.

„Aufwärts", Zeitschrift für Studierende: Schon lange Zeit spielen die psychischen Messungen in der experimentellen Psychologie eine Rolle, die neuerdings nicht unangefochten geblieben ist. Da nämlich Subjekt und Objekt bei vielen dieser Methoden dieselbe Persönlichkeit ist, ist dagegen geltend gemacht worden, ihre Ergebnisse könnten nicht als reine gelten. Maß und Zahl sind jedoch die geradezu unentbehrlichen Hilfsmittel des experimentellen Psychologen, und die Feststellung der Bedingungen, unter denen von tadellosen Meß-Methoden gesprochen werden kann, muß demnach für die Wissenschaft von hohem Werte sein. Deshalb ist es von Bedeutung, daß Dr. E. Lipps in einer besonderen, der Sammlung „Die Wissenschaft" (Braunschweig 1906, Friedr. Vieweg & Sohn) einverleibten Schrift diesen Gegenstand einer besonderen Erörterung unterzogen hat. Er beschreibt die eingeschlagenen Methoden im einzelnen und legt Kritik an sie. Eine von Lipps hier und schon früher bevorzugte Messungsmethode ist die Beobachtungsreihe, die auf möglichst weitschichtigem Material beruht. Er gibt hier für diesen Typ Bestimmungen an und analysiert die Komponenten seiner Tragweite. Im übrigen erweist die sehr gehaltvolle Schrift, daß es zurzeit nicht möglich ist, von einer objektiven psychischen Meßmethode zu sprechen und die Bedingungen der psychischen Meßmethoden jedesmal im einzelnen gesondert und geprüft werden müssen.

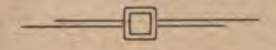
Urteile der Presse.

Beilage zur Allgemeinen Zeitung, München: Die F[illegible]
dem Bau des Fixsternsystems, dem unsere Sonne angehört, bildet [illegible]
wichtigsten Probleme der heutigen Astronomie. Wenn eine nach all[illegible]
befriedigende Lösung dieses Problems auch in naher Zeit nicht zu [illegible]
ist, so war es doch ein höchst verdienstvolles Unternehmen des Verfa[illegible]
Standpunkt, den die astronomische Forschung gegenwärtig im Hinbl[illegible]
diese Frage einnimmt, sowie die Vorstellungen, die wir uns über den [illegible]
Fixsternsystems zu machen haben, in zusammenfassender Weise dar[illegible]
und die bis jetzt erlangten Ergebnisse weiteren Kreisen zugänglich zu [illegible]
Verfasser gibt zunächst einen kurzen historischen Überblick über den [illegible]
stand. Die Frage nach dem Bau des Universums ist verhältnismäßi[illegible]
Kepler (1571—1630), der Entdecker der Gesetze für die Bewegung de[illegible]
neten um die Sonne, betrachtet die letztere, „das Herz des Universums"[illegible]
als das Weltzentrum; erst Huygens (1629—1695) stellt sie auf die [illegible]
Stufe mit den Fixsternen. Aber schon 1734 tritt Thomas Wright dafü[illegible]
daß der Milchstraße in bezug auf das Fixsternsystem dieselbe Bedeutun[illegible]
komme wie der Ekliptik hinsichtlich unseres Sonnensystems, und nur [illegible]
Jahrzehnte später spricht Kant in seiner „Naturgeschichte des Himmels"[illegible]
Ansicht aus, daß das Fixsternsystem in der Richtung der Milchstraße [illegible]
weiter ausdehne als in anderer Richtung, daß die Sterne über eine li[illegible]
förmige Fläche verteilt seien, die wir längs der Kante (der Milchstr[illegible]
betrachten; daß ferner die Sonne dem Mittelpunkte dieser Fläche ziem[illegible]
nahe stehe und daß endlich die Sterne ähnlich, wie die Planeten um [illegible]
Sonne, eine Bewegung um einen gemeinsamen Mittelpunkt besäßen. E[illegible]
gewiß von hohem Interesse, zu konstatieren, daß diese auf Grund [illegible]
spekulativen Betrachtungen gewonnenen Anschauungen Kants durch [illegible]
gebnisse der neueren Forschungen im wesentlichen bestätigt wur[illegible]
Im ersten Abschnitt des Buches behandelt dann Verfasser, [illegible]
allgemein, die für die Lösung des Problems [illegible]
schen Instrumente und Beobachtungsmetho[illegible]
orte und die Änderungen der letzteren [illegible]

Farbe und des Spektrums der Gestirne, ihrer Entfernung von uns (ihrer „Parallaxe"), ihrer Eigenbewegung am scheinbaren Himmelsgewölbe, sowie in der Richtung des Sehstrahles, endlich die Verteilung der Sterne. Im zweiten Abschnitt geht Verfasser sodann auf diese Gegenstände näher ein, insbesondere teilt er hier, soweit es nötig erscheint, die Ergebnisse der wichtigsten einschlägigen Beobachtungsreihen mit und kommt dann in ausführlicher Weise auf die Bestimmung des Apex der (translatorischen) Bewegung der Sonne aus den bis jetzt bekannten Eigenbewegungen der Fixsterne zu sprechen,



indem er die Grundlagen der von verschiedenen Astronomen hierfür aufgestellten Rechnungsmethoden samt den jedesmaligen Ergebnissen einer kritischen Würdigung unterzieht. Im dritten Abschnitt werden endlich die von den verschiedenen Forschern über das Phänomen der Milchstraße, über die räumliche Anordnung des Universums, sowie über die Bewegungen in dem letzteren angestellten Untersuchungen und Theorien übersichtlich dargestellt und eingehend erörtert. Auf Einzelheiten einzugehen, würde an dieser Stelle zu weit führen . . . — Wir möchten nicht verfehlen, das Studium des ausgezeichneten Buches, das seinesgleichen in der deutschen Literatur nicht besitzt, allen Freunden der Astronomie auf das wärmste zu empfehlen.



angegebene H-Theorem deduziert, aus dem erhellt, daß die Eigenschaft der Entropie, einem Maximum beständig zuzustreben, als ein Streben des Gases erscheint, von einem weniger wahrscheinlichen zu einem wahrscheinlichen Verteilungszustande zu gelangen.

Sehr elegant ist die nun folgende Ableitung des Maxwell-Boltzmannschen Gesetzes der Verteilung der Geschwindigkeiten der Gasmoleküle bei Berücksichtigung des Einflusses äußerer Kräfte. Diese Ableitung, bei der die hydrostatischen Grundgleichungen gebraucht werden, hat der Verfasser des vorliegenden Buches gegeben. Daß das Maxwell-Boltzmannsche Gesetz für beliebig kleine Kraftfelder gültig bleibt, wird im folgenden dargetan. Unter Zugrundelegung der Virialgleichung betrachtet der Verfasser die Zustandsgleichung schwach komprimierter Gase, wobei er den Entwickelungen von Reinganum folgt und schließlich aus der von diesem Forscher aufgestellten Gleichung zur Gleichung von van der Waals gelangt.

Weiter wird gezeigt, wie die Anziehungskräfte der Moleküle bei Berechnung der mittleren Weglänge in Betracht zu ziehen sind; daraus ergibt sich eine Formel, welche die Abhängigkeit der inneren Reibung der Gase von der Temperatur angibt, eine Formel, die auch experimentell verifiziert wurde.

Im weiteren Verlaufe seiner Ausführungen bespricht der Verfasser noch den Temperatursprung bei der Wärmeleitung, also jene Erscheinung, daß — wenn Wärme vom Gas an einen festen Körper oder umgekehrt abgegeben wird — an der Oberfläche des festen Körpers eine tiefere bzw. höhere Temperatur herrschen müsse, als in der unmittelbar daran stoßenden Grenzschichte des Gases.

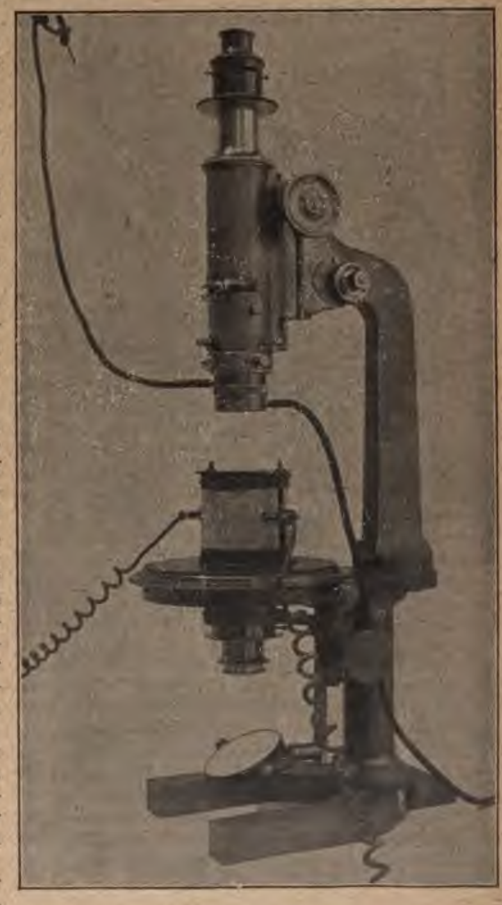
Die Theorie der idealen Flüssigkeit, wie sie von Jäger vor drei Jahren aufgestellt wurde, wird mit Berücksichtigung des inneren Druckes einer solchen Flüssigkeit und der inneren Reibung derselben in den Schlußabschnitten des Buches dargestellt. Von großem Interesse ist die aus dieser Betrachtung gezogene Folgerung bezüglich des Durchmessers der Flüssigkeitsmoleküle. So wird die Größe des Durchmessers der Quecksilbermoleküle zu $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ mm bestimmt.

Wer sich über die Fortschritte auf dem Gebiete der kinetischen Gastheorie, namentlich in theoretischer Hinsicht, rasch orientieren will, wird mit Vorteil sich dieser sehr klar geschriebenen Schrift bedienen. Das Buch ist dem Meister der gastheoretischen Forschung Prof. Boltzmann gewidmet.

Chemiker-Zeitung: Die ausführliche Einleitung des Werkchens gibt eine ausgezeichnete klare Darstellung der kinetischen Gastheorie. Schon wegen derselben kann das Büchlein, das aus der Feder des durch seine „theoretische Physik" wohlbekannten Verfassers hervorgegangen ist, bestens empfohlen werden. Der Hauptteil ist zunächst Boltzmanns Untersuchungen gewidmet. Das H-Theorem und seine Beziehung zum zweiten Hauptsatze der Wärmetheorie finden zuerst ihre Ableitung, sodann die Sätze über Geschwindigkeitsverteilung und Dichteverteilung in einem Gase, in dem innere und äußere Kräfte wirken. Der Verf. verfolgt hier anschauliche und originelle Methoden. Die Anwendung wird auf die Zustandsgleichung nicht zu stark komprimierter Gase gemacht, wobei der Verf. den Arbeiten von M. Reinganum folgt. Der Temperaturkoeffizient der inneren Reibung, der in letzter Zeit befriedigende Erklärung fand, wird ebenfalls besprochen. Es folgen die Untersuchungen von Smoluchowski über den Temperatursprung der Wärmeleitung in Gasen und eigene Forschungen des Verf. über die Theorie der Flüssigkeiten. Das Büchlein kann daher allen, die sich für die auch in der Elektrizitätslehre immer mehr Bedeutung gewinnende kinetische Theorie interessieren, wärmstens empfohlen werden.

---

auf die noch offenen Fragen und unter Kritik der sich zum Teil noch ziemlich unvermittelt entgegenstehenden Meinungen. Der größte Teil des Buches beschäftigt sich mit den für den Petrographen am interessantesten erscheinenden Eruptivgesteinen, wobei auch selbstverständlich öfters auf die mit ihrer Entstehung zusammenhängenden Fragen aus der Theorie des Vulkanismus und auf die vulkanischen Erscheinungen eingegangen wird. Kürzer behandelt sind die kristallinen Schiefer und Sedimentgesteine, bei denen, den Begriff des Gesteins im engeren Sinne gefaßt, Erze und Kohlen ausgeschlossen bleiben. Daß das Buch die neuesten Ergebnisse der experimentellen physikalisch-chemischen Forschung mit denen der petrographischen Untersuchungen und geologischen Beobachtung verbindet, braucht wohl kaum besonders betont zu werden.



Naturwissensch. Rundschau: Bei der Fülle der Fortschritte auf den Einzelgebieten mathematischer Forschung ist es dankbar zu begrüßen, daß sich die Verlagsbuchhandlung Friedr. Vieweg & Sohn in dieser „Die Wissenschaft“ bezeichneten Sammlung die Aufgabe gestellt hat, aus der Feder berufener Spezialforscher auch dem dem jeweiligen besonderen Zweige der Mathematik oder Naturwissenschaften Fernerstehenden eine übersichtliche Darstellung der betreffenden Materie zu bieten. . . .



Im einzelnen gibt er eine Übersicht der Ansichten und Lehren über das Erdinnere und den Vulkanismus, sowie über die Erscheinungsweise und Struktur der Eruptivgesteine. Weiterhin erörtert er die Abhängigkeit der mineralogischen Zusammensetzung von der chemischen Zusammensetzung und die Differentiation der Magmen und die sich aus den Umschmelzungsversuchen von Mineralien und Gesteinen ergebenden darauf bezüglichen Resultate.

Aus der Fachpresse.

Photographische Rundschau: Dr. B. Donath, der bekannte Physiker an der Urania zu Berlin, hat mit vorliegendem Werke den Grundstein gelegt für die gedeihliche Weiterentwickelung der direkten und indirekten Farbenphotographie. Die neuerdings über dies Thema erschienenen Abhandlungen sind zum überwiegenden Teile Reklameschriften für ein bestimmtes Verfahren und verfaßt ohne die notwendigen Vorkenntnisse. Donath erörtert in streng wissenschaftlicher und doch leicht verständlicher Weise die Grundlagen eines jeden Verfahrens, um daran anschließend bewährte Arbeitsvorschriften zu geben. Ungemein lichtvoll sind die schwierigsten Fragen abgehandelt, z. B. das Zustandekommen der Scheinfarben durch stehende Wellen. Selbst ein Meister in der Dreifarbenphotographie hat Donath dies Feld nach allen Seiten hin aufs gründlichste durchforscht und manche neue Anregung gegeben.

Allgemeine Sportzeitung: Bisher mußte man, wenn man sich über Photographie in natürlichen Farben, ihr Wesen und ihre Möglichkeiten befriedigend informieren wollte, mehrere, zum mindesten drei oder vier Werke durchlesen; jetzt ist das für die theoretische Information Notwendige sehr glücklich und gut zusammenhängend in einem Bande dargestellt, so daß man jemandem, der, sei es aus bloß theoretischem Interesse, sei es aus einem praktischen Bedürfnis, das Gebiet der Farbenphotographie betreten will, kaum besser raten kann, als daß er sich das vorliegende Werk anschaffen möge, um in die Grundlagen dieses photographischen Zweiges eingeweiht zu werden und außerdem die verschiedenen Wege, die hier zu dem erstrebten Ziele führen können, verständnisvoll zu überblicken. Man muß keineswegs über elementare, physikalische und optische Kenntnisse hinaus sein, um den Darlegungen des Verfassers zu folgen; denn dieser hat, die Weite des Leserkreises richtig abschätzend, auf eine allgemeine Verständlichkeit Gewicht gelegt. Donath beschreibt zuerst das direkte Verfahren. Es mag hier eingefügt werden, daß die Abhandlung um so größerem Interesse begegnen dürfte, als die Lehmannschen Arbeiten die Aufmerksamkeit der Fachwelt wieder auf das Lippmann-Verfahren hingelenkt haben. In dem zweiten Kapitel wird einer der inter-

essantesten Prozesse verhandelt, nämlich das Ausbleichverfahren; der betreffende Abschnitt ist ziemlich kurz, doch trifft hier den Verfasser kaum eine Schuld — es ist über dieses so interessante Verfahren eben leider nur wenig zu sagen. Der zweite Teil des Buches beschäftigt sich mit der indirekten — heutzutage praktisch wichtigeren — Methode der Farbenphotographie mit ihren zwei Arten der Farbensynthese: der additiven und der subtraktiven. Unter die Verfahren hat der Verfasser auch schon das neue von Lumière (mit gefärbten Stärkemehlkörnern als Filter) aufgenommen. Überhaupt zeichnet sich das Buch fast durchwegs durch seine Vollständigkeit aus, und wenn darin auch nur die Grundlagen gezeigt werden sollen, so sind doch bei jedem Verfahren auch die Hauptzüge der Praxis angedeutet.



„Apollo", Zentral-Organ für Amateur- und Fachphotographie: Das Werk bildet eine vorzügliche Einführung in die Theorie der direkten und indirekten Farbenphotographie. Trotz seines wissenschaftlichen Charakters ist das Buch in einer klaren, leicht verständlichen Form gehalten, so daß es auch der nicht wissenschaftlich Gebildete mit Genuß und Verständnis lesen kann. In überzeugender Weise behandelt der Verfasser zunächst die direkten Verfahren der photographischen Farbenwiedergabe, und zwar sowohl diejenigen durch stehende Lichtwellen (Lippmannsches Verfahren) als auch diejenigen durch Körperfarben (Ausbleich-Verfahren). Der zweite Teil enthält eine wissenschaftliche Begründung der indirekten Verfahren und zwar sowohl nach der additiven wie nach der substraktiven Methode der Farbenwiedergabe. Selten dürfte ein wissenschaftliches Werk auch für den Nichtfachmann eine so interessante und anregende Lektüre bilden, wie das vorliegende Buch. Die drucktechnische Ausstattung ist vorzüglich. Wir empfehlen unseren Lesern das Werk angelegentlichst.

über Alter und Entstehung der Höhlen. Das Ganze gipfelt zumeist in einigen Bemerkungen über das Schaurigschöne der Grottenwelt oder über die Pracht der Stalaktiten.

Da aber der Wissenschaft mit derartigen Darstellungen nur wenig gedient ist, so möchte von Knebel mit seinem auf wissenschaftlicher Grundlage aufgebauten Werk nicht nur den Laien für dieses fesselnde Gebiet der geographischen Geologie gewinnen und ihn, soweit es in seinen Kräften steht, zu gewissenhaften Beobachtungen veranlassen und seinen Blick schärfen, sondern



auch dem Fachmann Anregung und vor allem Gelegenheit zum Meinungsaustausch geben. Sind doch die meisten Fragen der Höhlenkunde nur wenig erörtert und selbst da, wo dies stattgefunden hat, fehlte eben oftmals die zur Entwickelung eines jeden Wissenschaftszweiges so wichtige Diskussion.

Der Verfasser erschien um so eher geeignet, dieses zwar schwierige, aber auch lohnende Beginnen in die Hand zu nehmen, als er sich während einer Reihe von Jahren mit dem Wesen der Höhlenbildung befaßt hat; in den Höhlengebieten Süddeutschlands, dem fränkischen und schwäbischen Jura, im Rheinlande und im österreichischen Karst konnte er seine Studien fortsetzen. Und so hat sich denn bei seinen kritischen Untersuchungen manches ergeben, was bisher wenig oder gar nicht berücksichtigt wurde.

Natur und Kultur: Der Verfasser macht den Versuch, die Eiszeit und ihre Erscheinungen und Bildungen im Zusammenhang darzustellen, gibt eine Darstellung der verschiedenen Hypothesen zur Erklärung der Eiszeit, wobei er für die Einheitlichkeit des Phänomens eintritt, der Tier- und Pflanzenwelt derselben und nimmt auch eingehend Rücksicht auf die Funde, die über das erste Auftreten des Menschen Aufschluß geben. Weiter beschreibt er die Bildungen, die im wesentlichen Produkte des Eises und seiner Schmelzwasser sind, wie der Geschiebemergel, die Ablagerung der Grund- und Endmoränen und untersucht die Einwirkungen des Eises auf den Untergrund durch Schrammung, Randhöckerbildung, Gletschererosion usw. und die Schöpfung der Bodenformen durch Moränenbildungen. Der Hauptteil des Buches betrachtet die einzelnen Vereisungsgebiete. Besonders ausführlich wird die Glazialablagerung und ihr Vorkommen in Skandinavien, Finnland, Rußland, Dänemark, Holland und Norddeutschland nach eigenen Forschungen behandelt, aber auch die Bildungen Großbritanniens und der Alpen finden exakteste Darstellung nach den Arbeiten Geikies, Pencks und Brückners. Weiterhin schildert Geinitz die Schotter- und Kalktuff-, Löß- und Höhlenbildungen zwischen alpiner und nordischer Vergletscherung sowie die Spuren im Schwarzwald, den Vogesen und anderen deutschen Mittelgebirgen. Darauf wendet er sich dem übrigen Europa, Nordamerika und den Polarländern zu, um zum Schluß auch noch kurz die Spuren der Eiszeit auf den übrigen Kontinenten zu besprechen. Den Text ergänzen gute, zum Teil zweifarbig ausgeführte Karten und schöne Abbildungen, worunter sich sehr charakteristische Landschaftsformen als Vollbilder befinden. Das Buch verdient weiteste Verbreitung.

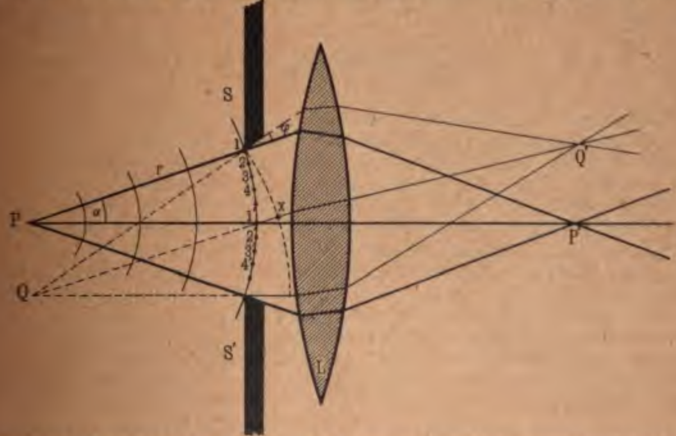
Zeitschrift für Schulgeographie: Der bekannte Mecklenburger Forscher auf dem Gebiete der Glazialgeologie hat hier ein Kompendium seines Forschungsgebietes gegeben, wie es knapper und zutreffender kaum gegeben werden konnte. Der Text ist eng zusammengedrängt, nicht gerade leicht zu lesen, erteilt aber dafür über alles, was mit der Eiszeit irgendwie in Beziehung steht, genaue und zuverlässige Auskunft. Mag man sich über die Moorfrage mit Bezug auf Klimaschwankungen oder über die Niveauschwankungen des Baltikums orientieren wollen, alle diese Erscheinungen charakterisiert Geinitz in kurzen treffenden Worten. Das fehlende Register wird durch das eingehende Inhaltsverzeichnis genügend ersetzt, so daß sich das Werk auch zum Nachschlagen sehr eignet.

Nach einer Betrachtung des Quartärs und seiner Eiszeit im allgemeinen, wo die Theorien über die Ursache und die Berechnungen ihrer Dauer mitgeteilt werden, beginnt die eingehende Besprechung des nordeuropäischen Glazials, die bis zu den postglazialen Niveauschwankungen herabgeführt wird. Geinitz ist bekanntlich Vorkämpfer des Monoglazialismus und gibt seiner Anschauung von der Einheitlichkeit der Eiszeit auch hier kräftigen Ausdruck, ohne sie aber einseitig zu verfechten. Durch den Vergleich gewisser europäischer Vorkommnisse mit dem nordamerikanischen driptlessarea gewinnt seine Ansicht an Wahrscheinlichkeit. Im zweiten Abschnitt wird das Glazialphänomen der Alpen einer Betrachtung unterzogen, ihm folgen in ähnlicher Behandlung das Gebiet zwischen alpiner und nordischer Vergletscherung, die Eiszeitgletscher im übrigen Europa, die Eiszeit Nordamerikas, die Polarländer und die Eiszeit auf den übrigen Kontinenten.

So haben wir zum erstenmal eine Behandlung des Glazialphänomens der ganzen Erde vor uns und mancher interessante Vergleich ergibt sich aus dieser Zusammenstellung, die für Geographen von besonderem Wert ist. Daß das textlich und illustrativ schön ausgestattete Buch weite Verbreitung finden wird, ist nicht zu bezweifeln, und Ref. kann es zur Orientierung und zum Studium bestens empfehlen.

…turwissenschaftliche Rundschau: Ihre ersten, fundamentalen …ngen verdankt die ältere spektroskopische Forschung nahe ausschließlich … wichtigen und bewährten Hilfsmittel, dem Prisma. So wesentlich aber …seine Verwendung für die gesamte Kenntnis auf diesem Gebiete war, so …gte es doch bald in vielen Fällen, wo die mit seiner Hilfe gewonnenen …ultate zu neuen Fragen anregten, die das Bedürfnis nach subtileren experi…ntellen Untersuchungen weckten. Da waren es die auf die lange bekannten …scheinungen der Interferenz gegründeten Methoden, welche in neuerer Zeit … ihren verschiedenen Modifikationen der Spektroskopie eine aufs höchste ge…steigerte Genauigkeit der Beobachtung erbrachten und damit erst die Beantwortung einer großen Zahl der wichtigsten Probleme ermöglichten.

Der Verf., welcher selbst tätigen Anteil an dem Ausbau des in Rede stehenden Gebietes genommen hat, versucht in vorliegendem Hefte die große Mannigfaltigkeit von Methoden und Versuchen, welche auf dem Interferenzprinzip aufgebaut wurden, übersichtlich darzustellen und an mehreren Beispielen die große Bedeutung dieser Methoden für den Entwickelungsgang der spektro-

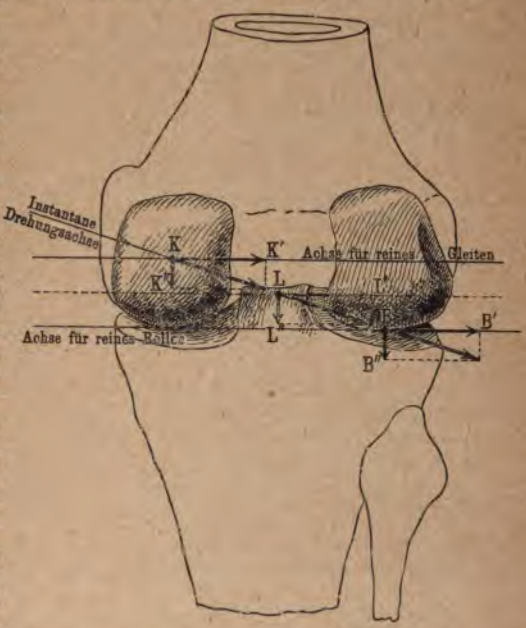


skopischen Erkenntnis zu zeigen. Die klaren und trotz elementarer Behandlung streng wissenschaftlichen Darlegungen müssen ihrer Vollständigkeit halber das Interesse des Fachmannes nicht weniger herausfordern wie dasjenige des dem Gebiete weniger nahestehenden Lesers, der, durch die elementare Beschreibung der Vorgänge der Wellenbewegung und der einfacheren Erscheinungen der Interferenz vorbereitet, auch den schwierigeren Problemen dürfte folgen können, wenn er vielleicht von den vielfach eingestreuten, dem Mathematiker jedenfalls willkommenen mathematischen Deduktionen absieht und sich die Darlegungen an den deutlichen Figuren veranschaulicht.

Von dem in fünf Teile gegliederten Inhalt sei hervorgehoben die Besprechung der Fresnelschen Interferenzversuche, der Newtonschen Farbenringe und ihrer Modifikation durch Fizeau, des Interferometers von Michelson, der Interferenzerscheinungen in planparallelen und keilförmigen Platten und des Interferenzspektroskops von Lummer und Gehrcke, schließlich des Gitters und Stufengitters. Der vierte Teil zeigt die Verwendung der Interferenzapparate. Der fünfte Teil bespricht einige Anwendungen der Interferenzen zu physikalischen Messungen. Der Anhang enthält ein Literaturverzeichnis.

Offizier wird das Werk Fischers mit Vergnügen studieren, sondern auch jeder praktische Arzt überhaupt, zumal es in einer sehr leicht verständlichen Sprache verfaßt und sehr übersichtlich dargestellt ist, so daß auch der, der die verschiedenen Gesetze der Mathematik nicht mehr völlig beherrscht, wohl verstehen kann, worauf es ankommt. — Zufällig wissen wir, welche Summe von Arbeit die niedergelegten Untersuchungen erfordert haben, und schon aus diesem Grunde wünschen wir dem Werke den weitestgehenden Erfolg.

Reichs-Medizinal-Anzeiger: Der Aufgabe der organischen Kinematik, die kinematischen Gesetze besonders den Zoologen, den Medizinern und den gebildeten Laien klar zu machen, hat Verf. sich in dem vorliegenden Buche unterzogen und diese Aufgabe vorzüglich gelöst. Dem Zwecke des Buches entsprechend begründet er die kinematischen Lehrsätze in elementarer Weise, indem er nur in zwei Abschnitten sich zur Darlegung der Differential- und Integralrechnung bedient. Im allgemeinen ist also das Buch auch für solche Leser verständlich geschrieben, die mit den Lehrsätzen der höheren Mathematik nicht vertraut sind. Die Behandlung des Stoffes geschieht in drei Hauptteilen: Der erste Teil behandelt die allgemeinen Untersuchungen über die Kinematik organischer Gelenke und zeigt, wodurch sich die organischen Gelenke von den Maschinengelenken unterscheiden und welche Gesichtspunkte bei der Untersuchung der in organischen Gelenken stattfindenden Bewegungen zu berücksichtigen sind. Der zweite Teil beschäftigt sich mit dem für die kinematische Beurteilung der organischen Gelenke wichtigen Begriffe der Bewegungsfreiheit. Im dritten Teile endlich werden die verschiedenen Methoden der Untersuchung spezieller Gelenke auseinander gesetzt. Ein ausführliches Verzeichnis der wichtigsten Literatur und ein sorgfältiges Sachregister schließt das interessante empfehlenswerte Buch. Es reiht sich den übrigen Monographien der Sammlung „Die Wissenschaft" würdig an.



Deutsche Literaturzeitung: Das ganze Buch ist mit beneidenswerter Präzision und Prägnanz geschrieben, der Aufwand an Geometrie und Algebra ist so bescheiden, daß man erwarten sollte, Mediziner und Zoologen werden sich durcharbeiten können. Jedenfalls wird es für sie die beste Einführung in die Gelenkmechanik sein. Für alle aber, die das Studium der Gelenke als Spezialität betreiben, wird die Fischersche Kinematik ganz unentbehrlich sein.

---

gedruckt vorliegenden Vorlesungen Neumanns, die von seinen Schülern herausgegeben sind, besprochen. Sodann wird an der Hand der Originalberichte und der Seminararbeiten ausführlich die Wirksamkeit Neumanns als Leiter des physikalischen Seminars erörtert.

Die Physikalische Zeitschrift schreibt: Die Materie des letzterschienenen Heftes der Sammlung „Die Wissenschaft" bildet die Biographie eines großen Gelehrten, des Königsberger Physikers und Mathematikers Franz Neumann. Nicht mit Flittern äußeren Glanzes umgibt A. Wangerin die markante Persönlichkeit dieses Mannes, für dessen edle Bescheidenheit und herzgewinnende Güte er aber nicht genug Worte finden kann. In schlichten einfachen Worten schildert der Verfasser die harten Entwickelungsjahre mit ihren zahlreichen Entbehrungen, die der Lehrer und Forscher Neumann durchzumachen hatte, um sich dann eingehend mit Neumanns wissenschaftlichen Arbeiten zu befassen. Neumanns erste Arbeiten liegen auf kristallographisch-mineraloigschem Gebiet. Später sind es Beiträge zur Wärmelehre, Optik und Elastizitätstheorie. Aus der Elektrizitätslehre bearbeitete er die induzierten Ströme. Seine bedeutendste mathematische Arbeit ist diejenige über Kugelfunktionen. Das Buch enthält ferner Mitteilungen über Arbeiten aus Neumanns Seminar und Laboratorium.

Nicht ohne ein gewisses Mitleid wird man das letzte Kapitel lesen, welches von Neumanns Bestrebungen zur Errichtung eines physikalischen Laboratoriums berichtet.

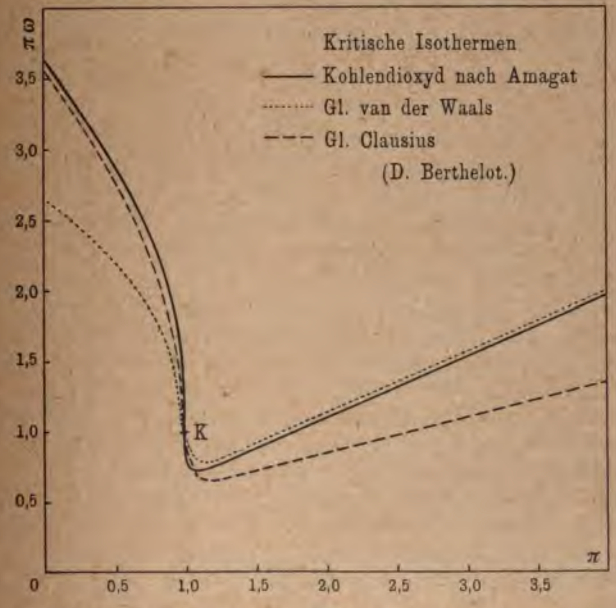
Das Buch ist eine wertvolle Bereicherung der Biographiesammlung berühmter Physiker.

Hochschul-Nachrichten: Verfasser, der selbst zu dem Kreise der Schüler Neumanns gehörte, welche aus dem von Neumann in Königsberg zum ersten Male gegründeten mathematisch-naturwissenschaftlichen Seminar hervorgingen und später in wissenschaftlichen Kreisen einen hervorragenden Platz sich erwarben, schildert mit der Pietät des begeisterten Schülers das Leben und anspruchslose Wirken des Mannes, der es in seltener Weise verstand, die schwierigsten Probleme seinem Zuhörerkreise verständlich zu machen und dessen umfangreiche wissenschaftliche Tätigkeit zum guten Teile erst durch die Herausgabe seiner Vorlesungen durch einzelne seiner Schüler gewürdigt werden kann. Die von Neumann selbst veröffentlichten Abhandlungen sind in dem Werkchen nach ihrem wichtigsten Inhalte und nach ihrer stofflichen Zusammengehörigkeit aufgeführt, so daß man sich ein Bild der gewaltigen Forschungsarbeit Neumanns machen kann. Das Buch Wangerins wird jedem Mathematiker, Physiker und Mineralogen eine genuß- und lehrreiche Lektüre sein.

Medizinischer und naturwissenschaftlicher Anzeiger: Das Buch enthält eine zusammenfassende Darstellung der Leistungen Franz Neumanns als Forscher und Lehrer auf dem Gebiet der theoretischen Physik. Der erste Teil ist biographisch; der zweite Teil gibt eine eingehende Analyse sämtlicher Originalarbeiten Neumanns, aus der hervorgeht, welche Förderung im einzelnen die verschiedensten Teile der Physik, die Kristallographie, Mineralogie und reine Mathematik durch seine Untersuchungen erfahren haben. Im dritten Teil werden die gedruckt vorliegenden Vorlesungen Neumanns, die von seinen Schülern herausgegeben sind, besprochen.

Weg weiter zu verfolgen, die Grundlagen für die Herleitung der Zustandsgleichung zu untersuchen, die Ursachen der Mängel, die der von van der Waals gegebenen Form noch unleugbar anhafteten, aufzusuchen und womöglich zu einer die Tatsachen noch genauer wiedergebenden Zustandsgleichung zu gelangen. Das vorliegende Buch enthält im wesentlichen die Geschichte dieser Versuche und eine Kritik derselben. Es ist dem Verfasser aufs beste gelungen, in knapper, aber stets klarer Weise aus der großen Reihe von Abhandlungen den wesentlichen Kern herauszuschälen und die ganze über diese Frage bestehende Literatur zu einer zusammenhängenden übersichtlichen Darstellung zu verarbeiten.

Besonders wertvoll wird namentlich dem Fachmann die äußerst sorgfältige vollständige Angabe der gesamten Literatur am Schlusse jedes Kapitels sein. Jedem, der sich für diese Fragen interessiert, kann dieses Werk aufs beste als orientierende vollständige Darstellung empfohlen werden.



Deutscher Reichsanzeiger: Es ist eines der interessantesten, aber zugleich der schwierigsten Spezialgebiete der Physik, in das der Verfasser auf 237 Seiten mit 9 eingedruckten Abbildungen den Leser einführt: Ein streng wissenschaftliches Werk, den Studierenden ebenso Genüge bietend, wie der großen Zahl der Gebildeten, welche an den Fortschritten der Naturerkenntnis ein reges Interesse nehmen und gern, auch unter entsprechend geistiger Anstrengung, sich unterrichtet halten u. a. von so wichtigen Bereicherungen unserer Anschauungen, wie sie hier über die Natur und das Verhalten von Gasen und Flüssigkeiten vorliegen und, an die vorangegangenen Arbeiten eines niederländischen Forschers anknüpfend, klar und in fesselnder Sprache erläutert werden . . .

Ausführlicher Verlagskatalog kostenlos.

Besprechungen.

Literarische Beilage zur Kölnischen Volkszeitung: Der Verfasser gehört zu den hervorragendsten Forschern auf dem Gebiete der Radioaktivität, und eine große Reihe der wichtigsten Entdeckungen über die radioaktiven Substanzen sind an seinen Namen geknüpft. Schon dieser Umstand wird dem Werke bei den Fachgelehrten eine freundliche Aufnahme sichern. Das Buch gibt in leicht verständlicher Form einen umfassenden Überblick über unsere gegenwärtige Kenntnis der Radioaktivität. Die Prozesse, die sich in radioaktiven Elementen abspielen, werden mit Hilfe der von Rutherford und Soddy entwickelten „Desintegrations- oder Zerfallstheorie" erklärt. Diese Theorie gipfelt in der Annahme, daß die Atome radioaktiver Stoffe unbeständig sind, daß in jeder Sekunde ein bestimmter Bruchteil der vorhandenen Atome instabil wird, „mit explosionsartiger Gewalt zerfällt", ein Vorgang, der gewöhnlich von der Ausschleuderung einer α- oder β-Partikel, d. h. eines positiv oder negativ geladenen Teilchens, oder beider zugleich begleitet ist. Der Rest bildet das Atom einer neuen Substanz, die z. B. bei Thorium das ebenfalls radioaktive Thorium-X ist. Das neue Atom unterliegt einem weiteren Zerfall. Die Tatsache, daß eine radioaktive Substanz lange Zeit Energie abgibt, läßt sich vom Standpunkte dieser Theorie ohne Schwierigkeit erklären, sie steht mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie in Einklang. Das in den Uraniumverbindungen (Joachimsthaler Pechblende) enthaltene Radium ist wahrscheinlich aus dem Uranium entstanden. Die außerordentlich wichtige Entdeckung von Ramsay und Soddy, daß von der Radium-Emanation, einem Gase, das aus dem Radium langsam entweicht Helium erzeugt wird, bildet eine bemerkenswerte Bestätigung der Zerfalls-

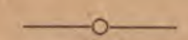
theorie. Gewisse Gründe sprechen dafür, die α-Partikel des Radiums als ein Helium-Atom aufzufassen.

Das schön ausgestattete, musterhaft klar geschriebene Werk, dessen Inhalt sich auch nicht mathematisch geschulte Leser aneignen können, kann denjenigen, die sich mit den Naturwissenschaften beschäftigen, besonders den Physikern und Chemikern, nicht warm genug empfohlen werden.

Österreichische Chemiker-Zeitung: Ein Buch über die Radioaktivität, verfaßt von dem Mann, dessen Ideen die Forschung auf diesem Gebiete fast ausschließlich beherrschen und der sich überdies auch an der einschlägigen experimentellen Arbeit durch viele und wichtige Untersuchungen beteiligt hat, ist inhaltlich selbstverständlich gut. Es genügt daher, über die Art der Darstellung einiges zu sagen. Die konsequente Benutzung der Theorie des Atomzerfalls ermöglicht in der Hand des Verfassers eine sehr klare Darstellung des Beobachtungsmaterials, welches in sehr großem Umfang und unter Darlegung der verwendeten Versuchs- und Meßmethoden, sowie mit Einschluß der geologischen und kosmologischen Seite des Problems mitgeteilt wird. Das Werk eignet sich ganz hervorragend für alle naturwissenschaftlich Gebildeten welche das neu erschlossene Wunderland möglichst gründlich kennen lernen wollen; wohl fast alle seine Leser werden daraus den Eindruck gewinnen, daß Rutherfords kühne Theorien eigentlich etwas ganz selbstverständliches seien. Auch werden keine übermäßigen Anforderungen an die Vorkenntnisse des Lesers gestellt.

Physikalisch-chemisches Zentralblatt: Es ist sehr erfreulich, daß durch die vorliegende Übersetzung einer Vortragsreihe des Verfassers, deren englisches Original gegen Ende des vorigen Jahres erschien, weiteren Kreisen Gelegenheit gegeben ist, einen vorzüglichen Überblick zu gewinnen über unsere gegenwärtige Kenntnis der Radioaktivität, die wir zu einem sehr wesentlichen Teil, insbesondere soweit sie die Erscheinungen der radioaktiven Umwandlung betrifft, den experimentellen Untersuchungen des Verfassers selbst verdanken.

Diese letztere Erscheinung erfährt dann auch eine besonders eingehende und durchweg allgemein verständlich gehaltene Besprechung. Von den bei der allmählichen Umwandlung der radioaktiven Substanzen emittierten Strahlensorten werden vornehmlich die α-Strahlen behandelt, deren neuestes Studium für die Kenntnis der Umwandlungsvorgänge von besonderer Bedeutung geworden ist. Der Anschaulichkeit dienen 53 klare Abbildungen.



Worten: „Die Erörterung der wichtigsten allgemeinen Fragen ist fast durchgehends so weit fortgeschritten, daß der rein logische Kern derselben klar hervortritt und die Entscheidung wesentlich davon abhängig wird, was man unter dem Dinge im Gegensatz zur Vorstellung, unter dem Äußeren im Gegensatz zum Innern versteht, wie man die Funktion des Begriffes und das Verhältnis von Begriff und Anschauung auffaßt usw.; in bezug auf diese Dinge aber herrscht eine solche Verwirrung von Ansichten, daß man von der erstrebten und gerühmten Exaktheit der autonomen Naturphilosophie wenig merkt."

In gleicher oder ähnlicher Lage befinden sich auch andere Erfahrungswissenschaften, die alle schließlich an einem oder vielen Punkten in die Philosophie münden. Und immer mehr und mehr Stimmen werden innerhalb der Einzelwissenschaften laut, die darum ein Zusammenarbeiten mit der Philosophie empfehlen und von der Heranziehung der Ergebnisse der Fachphilosophie einen Nutzen erwarten. Über eine Auseinandersetzung mit Kant kommt man dann aber heute weniger denn je hinweg.

Nachdem König den durchaus nicht zu unterschätzenden Einfluß der Naturwissenschaft auf Kants Philosophie geschildert und Kant selbst als Naturforscher gewürdigt hat, gibt er im dritten Kapitel eine Übersicht über die Leitsätze der kritischen Erkenntnislehre. Dem folgenden Kapitel „Kants Einwirkung auf die Naturwissenschaft des 19. Jahrhunderts", folgt die ausführliche Erörterung einer Reihe von speziellen Problemen: das Problem des Raumes und der Bewegung. — Erscheinung und Wesen, Erfahrung und Theorie (Kritik des Phänomenalismus). — Das physikalische Problem. — Das biologische und das psychophysische Problem. Überall zeigt der Verfasser auf, welche außerordentliche Bedeutung die kritische Philosophie für alle diese Probleme hat.

Große Sachkenntnis nach der naturwissenschaftlichen wie nach der philosophischen Seite hin zeichnen das Werk aus. Die Darstellung wird trotz aller Tiefe und Schwierigkeit der behandelten Probleme niemals trocken oder langweilig. Darum vor allem kommt das Werk nicht nur für den Fachmann in Betracht, sondern es eignet sich auch vorzüglich, jeden Gebildeten überhaupt in die ganz eigenartige und hochinteressante Zuspitzung in der Problemlage der modernen Wissenschaften einzuführen.

Chemiker-Zeitung (am Schluß einer langen Besprechung): Im Rahmen einer Besprechung, selbst einer (mit Rücksicht auf die Schwierigkeit des Gegenstandes) schon ungewöhnlich langen, kann natürlich weder auf Einzelheiten eingegangen, noch mit dem Verfasser über deren Auffassung und seinem Gesamtstandpunkt gerechtet werden; doch dürften schon obige Andeutungen genügen, um die Leser dieser Zeitschrift auf die Fülle wichtiger Lehren und Gedanken hinzuweisen, die das Königsche Buch enthält, und die namentlich den Naturforscher anregen sollten, auch seinerseits weiter zu denken und, unbeirrt durch jegliche Autorität, nach fernerer Aufklärung zu streben. „Aufgeklärt sein", so sagt Kant, „heißt: den Mut haben, sich seines eigenen Verstandes zu bedienen."

Forschung so zu ordnen, daß alles das besonders hervortritt, was größere Bedeutung und speziell auf das praktische Leben Bezug hat. Da er seinen Ausführungen eine leicht faßliche, aber doch streng wissenschaftliche Form gegeben hat, so ist das Werk nicht allein dem wissenschaftlich und praktisch arbeitenden Chemiker wertvoll, sondern auch weitere Kreise werden darin viel Wissenswertes und Anregendes finden.

Die Einteilung ist eine sehr übersichtliche und praktische. In der Einleitung wird der Begriff der Synthese erläutert. Während Synthese im eigenen Sinne Aufbau einer Verbindung aus den Elementen oder aus solchen Verbindungen, welche ihrerseits aus den Elementen gewonnen werden können, bedeutet, schließt sich der Verfasser der Auffassung der Synthese im weiteren Sinne, d. h. der Darstellung komplizierter Substanzen und einfacheren, an. Ein kurzer historischer Überblick zeigt uns, daß die Pflege der chemischen Synthese erst seit Mitte des 19. Jahrhunderts eine zielbewußte wurde, sich dann rasch entwickelt hat und in der Neuzeit speziell durch die vielseitige Anwendung der Organomagnesiumalkaloide ihr eigenstes Gepräge erhalten hat. Die Bedeutung dieser Verbindungen, über deren Anwendung innerhalb 8 Jahren nicht weniger als 450 Abhandlungen erschienen sind, wird im ersten Kapitel behandelt. Von den übrigen Abschnitten interessieren uns besonders die über die Methoden von E. Fischer zur Synthese von Polypeptiden, über Synthesen auf dem Gebiete der Alkaloidchemie, der künstlichen Arzneimittel, von Farbstoffen, Riechstoffen und hydroaromatischen Verbindungen, welche viel für den Apotheker Wissenswertes in anregender Form bringen.

Apotheker-Zeitung: . . . Der Verfasser beschränkt sich auf die neueren Fortschritte der synthetischen Chemie, auch hier aber will er keine vollständige Übersicht über das Gesamtgebiet der organischen Chemie geben, sondern berücksichtigt nur diejenigen Methoden, die in wissenschaftlicher oder praktischer Hinsicht Bedeutsames geleistet haben. Sein Buch liefert demnach einzelne Ausschnitte aus dem großen, noch täglich anschwellenden Gebiete und führt uns in elf Kapiteln den heutigen Stand der Synthese auf den wichtigsten Arbeitsfeldern der organischen Chemie vor. Das Geschick des Verfassers, bestimmte Themata der organischen Chemie in fesselnder Weise in abgerundeter Form zu behandeln, ist aus einer Reihe früherer Veröffentlichungen bekannt und bewährt sich auch hier wieder. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß das Buch nur für denjenigen geeignet ist, der mit den üblichen synthetischen Methoden, die in den Lehrbüchern besprochen werden, vertraut ist und auf dieser Kenntnis weiter aufbauen will. Die älteren Methoden sind nur kurz angedeutet, während die schönen Erfolge neuerer Arbeiten eine ausführliche Würdigung finden. Das Buch weist daher auch nicht die sonst übliche systematische Einteilung der organischen Chemie auf, sondern ist nach den praktischen Zielen der Synthese geordnet. Uns interessiert am meisten das achte Kapitel: „Synthesen auf dem Gebiete der Alkaloidchemie, der künstlichen Arzneimittel und in der Puringruppe“, das 25 Seiten umfaßt. Von Alkaloidsynthesen wird die des Piperins, Nikotins, Atropins und Kokains besprochen, ferner die Darstellung von Morpholinbasen. Die synthetischen Arbeiten über die anderen Alkaloide sind nur angedeutet. Ausführlicher ist die Puringruppe behandelt. Von den synthetischen Arzneimitteln finden wir auf 10 Seiten die bekanntesten besprochen. Man wird die vom Verfasser getroffene Auswahl billigen können, wenn man im Auge behält, daß es nicht seine Absicht war, eine erschöpfende Darstellung bestimmter Gebiete zu geben, sondern dem Leser einen Überblick über den heutigen Stand und die Leistungen der Synthese zu verschaffen. Wer sich der Lektüre des Buches zu diesem Zweck widmet, wird es nicht ohne Nutzen und Befriedigung aus der Hand legen.

---

nach van't Hoff. — Der Begriff der maximalen Arbeit und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Das Thomsen-Berthelotsche Prinzip. Der erste Hauptsatz. Der zweite Hauptsatz. Die maximale Leistung einer Arbeitsmaschine. Der Carnotsche Kreisprozeß. Die Arbeitsleistung chemischer Vorgänge. Die Helmholtzsche Gleichung. — Die Berechnung der Affinität aus dem Betrage der Umsetzung. I. Reaktionen im homogenen System. a) Zwischen Gasen. Thermodynamische Ableitung des Massenwirkungsgesetzes. Experimentelle Bestimmung von Gasgleichgewichten. Statische Methoden. Dynamische Methoden. b) Reaktionen in Lösungen. Die Avidität von Säuren und Basen. II. Reaktionen im heterogenen System. a) Zwischen festen Stoffen und Gasen. Experimentelle Methoden zur Bestimmung der Dissoziationsspannung. Berechnung der Affinität der Metalle zum Sauerstoff und den Halogenen. b) Reaktionen zwischen festen Stoffen und Lösungen. c) Affinität zwischen festen Stoffen. — Elektrische Methode der Affinitätsmessung. Die maximale Arbeit eines galvanischen Elementes. Ketten vom Typus des Daniellelementes. Konzentrationsketten. Affinität der Komplexbildung. Das absolute Potential. Gasketten. Oxydations- und Reduktionsketten. — Affinität und Temperatur. Die Gleichung der Reaktionsisochore. Berechnung der Affinität aus der Wärmetönung. Die Affinität in der Nähe des Umwandlungspunktes. Änderung der Wärmetönung mit der Temperatur. Die Nernstsche Theorie zur Berechnung von Gleichgewichten aus thermischen Größen. — Ergebnisse der Affinitätsmessung. Reaktionen zwischen Verbindungen. Reaktionen zwischen den Elementen. — Schlußbetrachtung.

Beurteilungen.

Apotheker-Zeitung: . . . Der Verfasser des vorliegenden Buches gibt nach einem einleitenden Kapitel über die Entwickelung des Affinitätsbegriffs eine Darlegung der Mittel, mit deren Hilfe man die Größe der Affinität zu berechnen vermag. Alle diese Versuche laufen darauf hinaus, die größte Arbeitsleistung zu bestimmen, die der betreffende Vorgang hervorbringen kann. Das gelingt einmal aus dem durch das Massenwirkungsgesetz geregelten Betrage der Umsetzung, ferner mit Hilfe elektrischer Messungen und aus der Beziehung zwischen der Affinität und der bei chemischen Umsetzungen entwickelten Wärmemenge. Das wichtigste Ergebnis aller dieser Untersuchungen ist, daß bei allen einfachen Umsetzungen zwischen anorganischen Stoffen die treibenden Verwandtschaftskräfte in einer gesetzmäßigen Beziehung zu der Stellung der sich umsetzenden Elemente im periodischen System stehen, wie sie sich z. B. aus der Abnahme der Affinität zwischen Wasserstoff und den Halogenen mit deren zunehmendem Atomgewicht, also gemäß der Reihe F, Cl, Br, J oder aus der abnehmenden Löslichkeit der Reihe $CaSO_4$—$SrSO_4$—$BaSO_4$ ergibt. Die genaue Kenntnis der Beziehungen zwischen den Verwandtschaftskräften eines Stoffes und seinen übrigen Eigenschaften ist von ganz hervorragender Bedeutung, denn aus ihnen kann sein Verhalten bei beliebigen chemischen Einwirkungen vorher berechnet werden. Das Buch setzt die physikalisch-chemischen Grundbegriffe nebst ihrer mathematischen Begründung als bekannt voraus. Wer diese Vorbedingung erfüllt, wird in ihm eine interessante und anregende Lektüre finden.

